



HELSINGIN YLIOPISTO

KUORMAINVAAKAMITTAUKSEN PUNNITUSTARKKUUS JA MENETELMÄN KEHITTÄMINEN AINESPUUN MITTAUKSESSA

Tuomas Niinistö

Maisterintutkielma

5/2020

Metsätieteiden osasto

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous- ja metsätieteellinen tiedekunta		Laitos/Institution– Department Metsätieteiden osasto
Tekijä/Författare – Author Tuomas Niinistö		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuus ja menetelmän kehittäminen ainespuun mittauksessa		
Oppiaine /Läroämne – Subject Metsäteknologia ja logistiikka		
Työn laji/Arbetets art – Level Maisterintutkielma	Aika/Datum – Month and year 5 / 2020	Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 56 + 2
<p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Kuormainvaakamittauksessa puutavara mitataan puutavara-auton tai kuormatraktorin kuormaimeen asennetun, useimmiten hydrauliseen paineeseen perustuvan vaa’an avulla. Kuormainvaakamittaus on yksi puutavaran mittaukseen käytetyistä menetelmistä niin työ-, urakointi- kuin luovutusmittauksessa. Sen ongelmaksi on kuitenkin todettu aiempien tutkimusten perusteella vaakojen punnitustarkkuuden vaihtelut, joita aiheuttavat esimerkiksi lumi ja jää. Sen ohella menetelmän käytettävyydessä, kuten punnitustulosten tiedonsiirrossa, on todettu olevan kehitettävää.</p> <p>Tämän tutkimuksen tavoitteena on tarkastella kuormainvaakojen punnitustarkkuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi tavoitteena on selvittää kohteita, joita kehittämällä menetelmän käytettävyyttä voitaisiin parantaa tutkimuksen toimeksiantajana toimineessa yrityksessä. Punnitustarkkuutta tutkittiin analysoimalla kuormainvaa’an ja siltavaa’an punnitustulosten välisiä eroja. Analysoitu aineisto käsitti yhteensä 95 296 kuormaa kuuden eri tehtaan puutavaran vastaanotosta. Kuormista 42 448 oli yhden puutavaralajin kuormia, joista analysoitiin taustamuuttujien, kuten kuljetusmatkan, vaikutusta punnituseroon. Tämän ohella kuormainvaakamittauksen suorittamista tutkittiin haastattelututkimuksen avulla. Sen kohderyhmänä olivat punnituserojen perusteella valittujen kahdeksan eri kuljetusyrityksen toimihenkilöt sekä vaakavalmistaja Tamtron Oy.</p> <p>Kuormainvaakojen punnitustarkkuuden todettiin olevan keskiarvollisesti hyvä, mutta punnituserojen keskihajonta oli melko suuri. Siitä kertoo lasketut luottamusväliarvot suhteelliselle punnituserolle. Siltavaa’an ja kuormainvaa’an välisen punnituseron todettiin kasvavan huhtikuusta elokuulle. Tähän uskotaan haastatteluiden perusteella olevan syynä säätilavaihtelut sekä puutavaran alhainen ominaispaino ja sen vaikutus punnituseron kertaantumiseen nostettaessa useampia taakkoja. Kuormakoolla, puutavaralajilla, kuljetusmatkalla ja kauppatavalla havaittiin olevan vähäisiä vaikutuksia punnituseroon. Näiden vaikutusten varsinaiset syyt jäivät kuitenkin osin epäselviksi. Haastattelututkimuksen tulosten perusteella punnitustarkkuuteen vaikuttavat myös varastopaikka, säätila, kuljettajan toimintatavat sekä useat muut tekijät.</p> <p>Tutkimuksen tulosten perusteella kuormainvaakaa käytetään aina kuormaamisen yhteydessä kuormakoon hallitsemiseksi. Punnitustarkkuuden seurantaan käytettiin yrityksissä joko ainoastaan siltavaakaa tai sen ohella testipunnusta. Punnitustarkkuuden seurannan todettiin olevan aktiivista, mutta kalibrointi- ja viritystietojen kirjaamisessa havaittiin olevan puutteita. Haastateltavien mukaan kuormainvaakamittaus lisää toiminnan joustavuutta, koska mittaus ei ole paikka- tai aikasidonnaista. Menetelmän käytön edistämiseksi vaakalaitteita olisi kuitenkin tärkeää kehittää punnitustarkkuuden, toimintavarmuuden sekä käytettävyyden osalta. Esimerkiksi Tamtron Oy on tuonut alkuvuodesta 2020 markkinoille uuden sukupolven venymäliuska-anturitekniikkaan perustuvan vaa’an, jonka odotetaan ratkaisevan vanhojen hydraulisten vaakojen ongelmia.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Puutavaran mittaus, kuormainvaakamittaus, punnitustarkkuus, puutavaran autokuljetus		
Ohjaajat – Handledare – Supervisors Veli-Pekka Kivinen, Juha Rikala, Bo Dahlin, Samuli Hujo		

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
1.1 Puutavaran mittaus Suomessa	1
1.2 Puutavaran mittaaminen kuormainvaa’alla.....	2
1.2.1 Kuormainvaakamittaus ja laitteiden teknologia.....	2
1.2.2 Kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuus.....	5
1.2.3 Menetelmän käyttökohteet ja hyödyt.....	7
1.2.4 Menetelmän ongelmia	9
1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimustiedon hyödyntäminen.....	10
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	12
2.1 Kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuuden tutkiminen	12
2.1.1 Aineiston kuvaus	12
2.1.2 Aineiston käsittely ja laskennat.....	13
2.2 Haastattelututkimus kuormainvaakamittauksen nykytilasta ja tulevaisuudesta	15
2.2.1 Haastateltavien valinta.....	15
2.2.2 Menetelmät	17
3 KUORMAINVAAKOJEN PUNNITUSTARKKUUS.....	19
3.1 Punnitusero ja sen itseisarvo	19
3.2 Suhteellinen punnitusero.....	27
3.3 Taustamuuttujien vaikutus punnituseroon	31
4 VAAKAVALMISTAJAN HAASTATTELU	34
4.1 Tamtronin hydrauliset kuormainvaa’at ja punnitustarkkuus	34
4.2 Tamtronin vaakojen punnitustarkkuuden seuranta ja tiedonsiirto	35
4.3 Tamtron One Timber -vaaka.....	36
5 KULJETUSYRITYSTEN TOIMIHENKILÖIDEN HAASTATTELU.....	38
5.1 Kuormainvaa’an käyttö kuljetusyrityksissä	38
5.2 Ajoneuvoyhdistelmät ja niiden kuljettajat	39
5.3 Punnitustarkkuuden seuraaminen yrityksissä	40
5.4 Punnitustarkkuuteen vaikuttavat tekijät.....	42
6 TULOSTEN TARKASTELU	45

6.1 Aineisto ja menetelmät	45
6.2 Tulokset	46
6.2.1 Kuormainvaakojen punnitustarkkuus.....	46
6.2.2 Kuormainvaakamittauksen käyttäminen kuljetusyrityksissä	47
6.2.3 Punnitustarkkuuteen vaikuttavat tekijät	48
6.2.4 Punnituseron kausivaihtelu	50
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	51
7.1 Kuormainvaakamittaus puutavaran mittausmenetelmänä	51
7.2 Kuormainvaakamittauksen tulevaisuus ja jatkotutkimus	51
LÄHTEET	54
LIITE 1: Tamtron Oy haastattelu	
LIITE 2: Kuljetusyritysten haastattelu.....	

1 JOHDANTO

1.1 Puutavaran mittaaminen Suomessa

Puutavaran mittaaminen on tärkeä osa metsäteollisuuden ja sen puuhuollon toimintaa. Sitä on ohjattu Suomessa lainsäädännöllä vuodesta 1939 lähtien (Maa- ja metsätalousministeriö 2012). Lainsäädäntö määrittää hyväksytyt mittaamenetelmät sekä ohjaa niiden soveltamista. Lainsäädännön lisäksi puutavaran mittausta ohjaa Suomessa vuonna 1971 perustettu puutavaran mittaamaneuvottelukunta (Maa- ja metsätalousministeriö 2012). Se on Maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa toimiva lakisääteinen toimielin, jonka tehtävänä on antaa lausuntoja sekä kehittää ja ylläpitää puutavaranmittauksen hyviä käytäntöjä (Maa- ja metsätalousministeriö 2020). Tämän ohella neuvottelukunnan tehtävänä on toimia muutoksenhakuelimenä puutavaran mittaukseen liittyvissä osapuolten välisissä kiistoissa (Luonnonvarakeskus 2020).

Puutavaran mittaamista tarvitaan niin kuorellisen puutavaran kiintotilavuuden määrittämiseen puukaupan maksuperusteena kuin työ- ja urakointimaksujen määrittämiseen puutavaran korjuussa ja kuljetuksessa. Puutavaran mittauksella on nykyisin myös muita käyttökohteita. Ilman luotettavia katkotun puutavaran määrä- ja laatutietoja puuvirtoja olisi vaikeaa hallita. Tästä syystä katkottu puutavara mitataan kahdesti hankintaketjun aikana: ensin metsässä ja sitten tehtaalla (Maa- ja metsätalousministeriö 2012).

Mittaamenetelmät niin metsässä kuin tehdasvastaanotossakin ovat kehittyneet merkittävästi vuosien kuluessa. Hakkuutyön koneellistumisen ja mittausteknologian kehittymisen seurauksena hakkuukonemittauksesta on muodostunut yleisin puutavaran luovutusmittaamenetelmä. Sen ohella Maa- ja metsätalousministeriö (2012) mainitsee tehtaan puutavaran vastaanotossa tapahtuvan mittaamisen yleistyneen. Nämä ovat osaltaan vaikuttaneet siihen, että tienvarressa tapahtuva puutavaran pinomittaus on vähentänyt merkittävästi ja puiden pystymittaus on poistunut kokonaan (Maa- ja metsätalousministeriö 2012). Hakkuukonemittauksen yleistymiseen on vaikuttanut myös pystykaupan vahvistuminen vallitsevana puukauppana. Vastaavasti hankintakauppojen määrä on pienentynyt, joka on vähentänyt erityisesti kuitupuun pinomittausta tienvarressa. Kehityksen voidaan

nähdä olleen nopeimmillaan 1990-luvulla sekä 2000-luvun alkuvuosina Luonnonvarakeskuksen (2020) tilastoiden perusteella.

Vaikka puutavaran mittaamisen pääpaino onkin hakkuukone- ja tehdasmittauksessa, niin muillekin puutavaranmittauksen menetelmille on tarvetta. Erityisesti puutavara-auton kuormaamisen yhteydessä tapahtuvan mittauksen merkitys on kasvanut.

Luonnonvarakeskuksen (2020) tilastojen perusteella puutavaran autokuljetuksen kustannukset ovat kasvaneet vuosien 2001 ja 2018 välisenä aikana keskimäärin noin 50 % kuljetettua kiintokuutiometriä kohden. Tämän vuoksi kuljetusten optimoiminen ja kuljetuskapasiteetin tehokas hyödyntäminen on erittäin tärkeää. Vastaavasti Poliisin (2017) arvioiden perusteella ylikuormattujen ajoneuvoyhdistelmien osuus ei ole ainakaan laskenut. Kuormauksen yhteydessä tapahtuva punnitus olisi tämän vuoksi tärkeää suorittaa, vaikka hakkuukone- tai tehdasmittausta käytettäisiinkin puukaupan ja kuljetuksen maksuperusteena.

1.2 Puutavaran mittaaminen kuormainvaa’alla

1.2.1 Kuormainvaakamittaus ja laitteiden teknologia

Kuormainvaakamittaus on yksi puutavaran mittaukseen käytettävä menetelmä. Puutavaran massa punnitaan puutavara-auton tai kuormatraktorin puutavarakuormaimeen asennetulla vaa’alla, joka mittaa puutavaran painoa punnitusyksiköittäin eli kuormataakoittain (Lindblad ym. 2013). Punnitustulokset ilmoitetaan ja tallennetaan metsätietojärjestelmään kilogramman tarkkuudella (Melkas 2018). Punnitusyksiköiden yhteenlaskettu paino muodostaa puutavaralajikohtaisen mittauserän kokonaispainon, joka voidaan muuntaa puutavaran kuorelliseksi kiintotilavuudeksi tuoretiheyskerrointen avulla (Lindblad ym. 2013).

Kuormainvaaoissa käytetään pääosin kahta erilaista punnitusteknologiaa: hydraulista painetta tai venymäliuska-antureita. Useimpien käytössä olevien vaakojen toiminta perustuu hydrauliseen paineeseen ja sen mittaamiseen (Melkas, 2018). Nosturin puomin ja puutavarakouran pyörittäjän väliin asennetaan hydraulisyylinterin sisältävä vaakariipuke, jonka sisältämän öljyn paine muuttuu taakkaa nostettaessa (kuva 1). Painetta ja sen muutosta mitataan paineanturin avulla, jonka mittaamat arvot

muunnetaan punnittavaksi massaksi (Melkas 2018). Saxholmin ja Rantasen (2011) mukaan paineantureiden toiminta perustuu usein mekaaniseen muodonmuutokseen. Anturin mittauspäässä oleva joustava materiaali mukautuu siihen vaikuttavaan paineeseen (Saxholm ja Rantanen 2011). Paineen mittaaminen voidaan tehdä esimerkiksi havainnoimalla anturin mittauspään muodonmuutosta sähkövirran avulla. Mittaaminen voidaan tehdä myös mittaamalla anturin vastuksen sähkövirran varautumisen ja anturin tuntopään materiaalin muodonmuutoksen välistä riippuvuutta.

Yhä useammat vaakavalmistajat ovat kuitenkin siirtyneet käyttämään venymäliuska-antureihin perustuvaa punnitustekniikkaa. Näissä vaa'issa kuormaimen riipuke (kuva 1) on hydraulisylinterin sijaan varustettu venymäliuska-anturilla. Venymäliuskan venyminen aiheuttaa kappaleen resistanssin eli johtavuuden muutoksen (Hoffman 1989). Taakan massa tulkitaan sähköjohtavuuden muutoksen perusteella (Melkas 2018).



Kuva 1. Kuormainvaa'an riipuke on asennettu puutavaranoisturin puomin ja kouran pyörittäjän väliin (kuva: Tamtron Oy, 2019).

Kuormainvaaka punnitsee taakan dynaamisesti eli liikkeessä, kuormaamisen yhteydessä (Melkas 2010). Dynaamisen punnituksen on todettu olevan epätarkempaa kuin staattisen, paikallaan tehdyn punnituksen. Tämän aiheuttaa esimerkiksi taakan liikkuminen punnituksen aikana (Löfroth ym. 2006). Kuormainvaaka laskee kaikki kuormaamisen yhteydessä punnitut taakat, joista muodostuu kuormatun erän kokonaispaino (Melkas 2018). Kuljettaja käyttää vaakaa näyttöpäätteen avulla (kuva 2).



Kuva 2. Kuormainvaakajärjestelmä sisältää näyttöpäätteen, jonka avulla hallitaan laitteen toimintaa. Esimerkkinä Tamtron Timber -vaa'an näyttöpääte.

1.2.2 Kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuus

Vaakojen punnitustarkkuuden on todettu parantuneen merkittävästi viime vuosien aikana (Iwarsson-Wide ja Jönssön, 2012). Pettyn ja Melkkaan tutkimuksessa (2013) vaa'an mittausperiaatteella ei havaittu olevan tilastollisesti merkitsevää vaikutusta punnitustarkkuuteen. Kuormainvaa'an punnitustarkkuutta on seurattava, jotta mittaustulokset täyttävät puutavaran mittauslaissa (414/2013) säädetyt erän koosta riippuvat mittaustarkkuusvaatimukset (taulukko 1).

Taulukko 1. Kuormainvaa'an ja muiden vaakojen eräkoosta riippuvat mittaustarkkuusvaatimukset puutavaran mittauksessa (Laki puutavaran mittauksesta, 414/2013).

	Mittauserän paino (kg)			
	10 0000 - 30 000	30 000 - 50 000	50 000 - 100 000	>100 000
Suurin sallittu poikkeama (%)	8	7	6	4

Heikuraisen ym. (2019) mukaan mittaustarkkuutta on valvottava käyttöviikoittain ja vaaka on viritettävä tarvittaessa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Mittaustarkkuusvalvonnan tulokset on tallennettava vaakakohtaiseen lokikirjaan tai tietojärjestelmiin. Puutavaran mittauslainsäädännön mukaan vaa'an mittaustarkkuus on aina mittajaan eli kuljetus- tai korjuuyrittäjän vastuulla. Vaakalaitteen valmistajan velvollisuutena on lain mukaan toimittaa tietoa vaa'an käyttöä ja soveltuvuutta koskevista asioista.

Mittalaitteen tarkkuuden valvontaan on käytettävissä erilaisia menetelmiä. Vaa'an tarkkuus voidaan tarkistaa muun tarkistetun punnituslaitteen tai hyväksytyn testipunnuksen avulla (kuva 3).



Kuva 3. Kuormainvaa'an punnitustarkkuuden seurantaan käytettävä testipunnus (kuva: Melkas, 2018).

Heikuraisen ym. (2019) mukaan testipunnusten on oltava tarkastettuja sekä hyväksytyjä ja niistä on oltava kalibrointitodistus. Testipunnuksen massa on tarkistettava lisäksi vuoden välein (Melkas 2019). Kuormainvaa'an kalibroinnin tavoitteena on osoittaa se, kuinka paljon mittalaitteen ilmoittama tulos eroaa todellisesta painosta. Testipunnuksella mitattaessa tunnetun painoista, hyväksyttyä punnusta nostetaan dynaamisesti 20 kertaa ja nostojen aikana mitatut painot lasketaan yhteen (Heikuraisen ym. 2019). Dynaamisella punnituksella tarkoitetaan, että punnusta nostetaan ylös erilaisilta etäisyyksiltä suhteessa ajoneuvoyhdistelmään. Heikuraisen ym. (2019) mukaan mittaustulos on hyväksyttävä, jos vaa'an punnitusvirhe on ± 2 % virhemarginaalin sisällä. Jos virhe on yli ± 2 %, niin kalibrointimittaus on uusittava heti. Vaaka on viritettävä, jos näiden mittausten yhteenlaskettu virhe on yli ± 2 %. Mittausvirheen ollessa yli ± 7 % vaaka on viritettävä heti valmistajan ohjeistuksen mukaisesti (Heikurainen ym. 2019).

Kuormainvaa'an mittaustulosta voidaan myös verrata siltavaa'an antamaan mittaustulokseen (Heikurainen ym. 2019). Mittaustulosten välisen eron ollessa ± 2 % virhemarginaalin sisällä mittaustulos on hyväksyttävä. Jos mittaustulos on Heikuraisen ym. (2019) mukaan yli ± 2 % kolmella peräkkäisellä mittauksella, vaaka on viritettävä.

Eron ollessa yli ± 4 % kahdella peräkkäisellä mittauksella, kuormainvaaka on myös viritettävä. Jos ero on yli ± 7 %, niin vaaka on viritettävä heti (Heikurainen ym. 2019).

1.2.3 Menetelmän käyttökohteet ja hyödyt

Kuormainvaakamittausta käytetään niin työ-, urakointi- kuin luovutusmittauksessa (Melkas 2019). Laki puutavaran mittauksesta (2013) määrittää, että mittauksesta puhutaan työ- tai urakointimittauksena, kun tehdystä työstä maksetaan mitatun puutavaran määrän perusteella. Kuormainvaakamittausta käytetään puutavaran autokuljetuksen urakointimittauksessa esimerkiksi silloin, kun puuta ajetaan terminaaleihin, asemille tai uittopaikoille (Melkas 2018). Kuljetuksessa maksuperusteena on suoraan kuormainvaa'an mittaama paino.

Luovutusmittaus on puutavaran mittauslainsäädännön (2013) mukaan mittaamista, joka tehdään jalostamattoman puutavaran määrän, jakoperusteen tai laadun mittaamiseksi. Luovutusmittauksella määritetään kaupan kohteena olevan puutavaraerän puutavaran määrä, jonka perusteella voidaan määrittää erän kauppahinta. Kuormainvaakamittaus on ollut Suomessa virallinen puutavaranmittausmenetelmä vuodesta 2009 (Petty ja Melkas, 2013). Luovutusmittauksessa maksuperusteena ei käytetä suoraan kuormainvaa'an punnitustulosta vaan se muunnetaan kuorelliseksi kiintotilavuudeksi. Kuormainvaakamittauksen osuus puutavaran luovutusmittauksessa on pieni. Melkkaan (2019) mukaan se oli pystykaupoissa vuonna 2018 noin 0,4 prosenttia. Yksityismetsien hankinta- ja käteiskaupoissa kuormainvaakamittauksen osuus oli kuitenkin merkittävä. Vuonna 2018 noin 43,3 prosenttia eli noin 2,8 miljoonaa kuutiometriä hankintakauppapuusta luovutusmitattiin kuormainvaa'alla (Melkas 2019).

Heikkilä ym. (2004) toteavat, että kuormainvaakamittaus soveltuu hyvin erityisesti pienten kuitupuuerien mittaamiseen. Sen ohella menetelmää voidaan käyttää myös energiapuun (karsittu ranka, karsimaton osa- ja kokopuu) urakointi- sekä luovutusmittaamiseen (Lindblad ym. 2013). Kuormainvaakamittauksen merkittävimpiä etuja on, että menetelmän avulla voidaan välttää työlästä ja kallista

pinomittauksista tienvarsilla (Heikkilä ym. 2004). Tienvarressa tapahtuvan pinomittauksen osuus oli vuonna 2018 ainespuun hankintakaupoissa yhä 11 % (Melkas 2018). Kuormainvaakamittauksen mittaustarkkuus on myös parempi kuin tienvarressa tehdyn pinomittauksen (Heikkilä ym. 2004). Melkkaan (2018) mukaan kuormainvaakamittauksen etuna on myös se, ettei puutavaraeriä tarvitse pitää erillään tehdasmittauksista varten. Eri myyjien puutavara merkitään puutavara-auton kuorman nippukaaviokuvaan, jonka perusteella ne voidaan tunnistaa (Melkas 2018). Tämä parantaa puutavaran kaukokuljetuksen kustannustehokkuutta erityisesti pienillä puutavaraerillä, joiden logistiikan kustannukset voivat nousta jopa suuremmiksi kuin itse puutavaraerän arvo (Heikkilä ym. 2004). Tehdasmittaukseen verrattuna kuormainvaakamittauksen etuna on myös puunmyyjän näkökulmasta se, että menetelmä yleensä nopeuttaa loppumittauksen eli tilityksen tekemistä (Melkas 2018).

Suurin osa puutavaran kaukokuljetukseen käytetystä kalustosta on varustettu kuormainvaaoilla, joten menetelmän hyödyntämismahdollisuudet ovat hyvät. Kuormatessa mitatut punnitustiedot on myös mahdollista saada nopeasti metsätietojärjestelmään. Puutavaran luovutus- ja urakointimittauksen ohella menetelmää voidaan hyödyntää terminaaleihin ja muihin välivarastoihin ajettavan puutavaran varastokirjanpidossa. Punnitustietojen avulla metsäyhtiöiden metsätietojärjestelmien varastotiedot voidaan pitää ajantasaisina, kun punnitustiedot tallennetaan järjestelmään kuormauksen yhteydessä. Kuormainvaajan käyttäminen puutavara-auton kuormaamisen yhteydessä auttaa lisäksi kuormakoon hallinnassa. Punnituksen avulla voidaan välttää ylikuormien kuljettamista, joka osaltaan parantaa liikenneturvallisuutta. Grönlund ja Iwarsson Wide (2014) mainitsevat kokonaispainojen ylittämisen myös kuormittavan tieverkkoa. Vuonna 2006 Ruotsissa tehdyn tutkimuksen mukaan ylikuormattuina ajavien kuorma-autojen osuuden arvioitiin olevan kokonaisuudessaan jopa 30 prosenttia, joten ongelma on merkittävä (Grönlund ja Iwarsson Wide, 2014). Vastaavasti kuorman punnitsemisella kuormauksen yhteydessä autojen laillinen kantavuus voidaan hyödyntää täysimääräisesti. Jos ylikuormia yritetään välttää ilman punnitusjärjestelmää, niin kuormat jäävät usein vajaiksi, mikä heikentää kuljetusyritysten taloudellista tulosta (Grönlund ja Iwarsson Wide, 2014).

1.2.4 Menetelmän ongelmia

Yhdeksi kuormainvaakamittauksen keskeiseksi ongelmaksi on havaittu talviaikana lumesta ja jäästä johtuvat punnitusvirheet. Heikkilän ym. (2004) tutkimuksen perusteella kuormainvaakamittausserissä esiintyi talviaikana lumen ja jään aiheuttamia systemaattisia yliarvioita. Menetelmän käyttäjien kokemusten perusteella punnitustarkkuus ei kuitenkaan ole menetelmän ainoa heikkous. Erityisesti punnitustietojen sekä kalibrointi- että viritystietojen tiedonsiirrossa on koettu olevan kehitettävää. Punnitustulosten tallentaminen ja siirtäminen metsätietojärjestelmään tapahtuu yleensä muistiinpanojen perusteella tai muistinvaraisesti, mikä mahdollistaa virheiden syntymisen. Toimintamalli aiheuttaa myös ylimääräistä työtä puutavara-auton kuljettajille. Kuormainvaakaa käyttämisen on todettu myös heikentävän tuottavuutta erityisesti, jos punnitseminen ei tapahdu automaattisesti ja vaatii napin painamista kuormauksen yhteydessä (Iwarsson-Wide ja Jönsson, 2012).

Kuormainvaakojen kalibrointi- ja virityskäytännöissä sekä punnitustarkkuuden seurantatietojen taltioimisessa voidaan perustellusti olettaa olevan erilaisia käytäntöjä kuljettajien välillä. Kuormainvaakojen punnitustarkkuuden seuranta on kuljettajien ja kuljetusyrittäjien vastuulla ja se tulee toteuttaa puutavaranmittauksen neuvottelukunnan suosituksen mukaisesti (Heikurainen ym. 2019). On epäselvää, miten aktiivisesti punnitustarkkuutta yrityksissä seurataan ja onko vaakojen keskimääräinen punnitustarkkuus riittävä. Kuormainvaakamittauksen käytettävyyden edistämiseksi menetelmän eri osa-alueita olisi myös tarpeellista tutkia ja kartoittaa käyttämistä helpottavia ratkaisuja. Kuormainvaakamittauksen tehokas hyödyntäminen vaatii, että sen keskeisimmät käyttöä vaikeuttavat tekijät tunnistetaan ja niihin löydetään ratkaisuja. Tämä auttaa osaltaan kehittämään vaakateknologiaa käyttäjien vaatimusten mukaiseksi.

1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimustiedon hyödyntäminen

Kuormainvaakamittauksista ja menetelmän toimivuudesta on tutkittu vähän. Tämän vuoksi kuormainvaakojen punnitustarkkuudesta ja menetelmän käytännön soveltamisesta on vain vähän luotettavaa, tutkittua tietoa. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää kuormainvaakojen punnitustarkkuus ja toimivuus käytännön puunhankinnassa. Lisäksi tarkasteltiin kalibrointi- ja virityskäytäntöjä sekä tietojen hallintaa. Tavoitteena oli näiden ohella löytää mahdollisia kuormainvaakamittaukseen liittyviä, käyttäjien havaitsemia kehittämiskohteita. Tutkimus toteutettiin metsäalan yrityksen toimeksiantona. Yrityksen tavoitteena on tutkimustulosten avulla parantaa kuormainvaakamittauksen käytettävyyttä. Tutkimustulosten tavoitteena on erityisesti auttaa kehittämään yrittäjäohjeistusta. Lisäksi käyttäjäkokemusten perusteella punnitus- ja kalibrointitietojen tiedonsiirrossa oli havaittu kehitettävää, johon etsittiin ratkaisua tutkimuksen avulla. Tutkimustulosten avulla tavoitteena on parantaa sekä liikenneturvallisuutta että puutavaran autokuljetuksen kustannustehokkuutta. Kuormainvaakamittaus mahdollistaa kuormakoon hallinnan ylikuormien välttämiseksi sekä vastaavasti kuljetuskapasiteetin tehokkaan hyödyntämisen. Ongelmakohtia ratkaisemalla on mahdollista tehostaa kuormainvaakamittauksen hyödyntämistä puutavaran kaukokuljetuksessa.

Ensimmäisen osatutkimuksen tehtävänä oli tutkia kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuutta. Tavoitteena oli analysoida punnituseron suuruutta sekä sen vaihtelua. Oletuksena oli, että kuormainvaakamittauksen punnitustuloksissa on havaittavissa Heikkilän ym. (2004) sekä Pettyn ja Melkkaan (2013) tutkimusten mukaista punnitusvirheen kausivaihtelua kuukausien välillä. Tilastollisen analyysin odotettiin osoittavan, esiintyykö kuormainvaakamittauksella tehtyjen punnitusten tarkkuudessa systemaattisia eroja ja jos esiintyy, niin mikä niitä aiheuttaa.

Tutkimuksen toisen osan muodosti haastattelututkimus. Osatutkimuksen tavoitteena oli löytää ja tunnistaa menetelmän laajempaa käyttöä edistävät keskeiset kehityskohteet. Lisäksi vastausten avulla oli tarkoituksena selittää mahdollisia tilastollisissa analyysissä tehtyjä havaintoja. Haastattelututkimuksen tavoitteena oli kerätä tietoa siitä, käyttävätkö kuljettajat kuormainvaakalaitteita ja mittausmenetelmää ohjeistuksen mukaisesti. Oletuksena oli, että kuormainvaakamittauksen käyttämisessä esiintyy vaihtelua ainakin kalibrointi- ja virityskäytännöissä. Tavoitteena oli löytää

sekä yleisimmät käyttövirheet että parhaat käytännöt kuormainvaakamittauksen soveltamiseen ja yrittäjäohjeistuksen kehittämiseen. Tutkimuksessa oli tavoitteena saada myös monipuolinen käsitys kuormainvaakojen teknologiasta ja sen kehityksestä haastatteleamalla yhtä vaakavalmistajaa.

Tutkimuskysymyksiä oli neljä:

1. Onko kuormainvaakamittauksen punnitustuloksissa havaittavissa eroja siltavaakaan verrattuna ja kuinka suuria ne ovat?
2. Mitkä tekijät vaikuttavat kuormainvaakojen punnitustarkkuuteen?
3. Onko kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuudessa eroja kuljettajien välillä?
4. Miten punnitustietojen sekä kalibrointi- ja viritystietojen tiedonsiirtoa kuormainvaa'alta voitaisiin automatisoida?

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuuden tutkiminen

2.1.1 Aineiston kuvaus

Kuormainvaakojen punnitustarkkuutta tutkittiin kuudelle eri puumassa- ja paperitehtaalle toimitettujen autokuormien punnitustietojen perusteella. Tehtaat on esitetty tutkimuksessa nimettöminä kirjaimin A–F. Tarkasteltu ajanjakso oli 1.1.2018–30.9.2019. Tutkimuksen aineisto koostui tehtaan puutavaran vastaanoton siltavaa’an kuormakohtaisista punnitustuloksista sekä kuormainvaa’alla kuormauksen yhteydessä mitatuista massatiedoista. Siltavaa’an sekä kuormainvaa’an punnitustulokset oli raportoitu tehtaittain erillisiin taulukkomuodossa oleviin tiedostoihin.

Aineistossa kuormakohtaiset punnitustulokset oli jaettu sekä kuormittain että puutavaralajeittain. Aineisto sisälsi seuraavat tiedot kuormittain:

- kuorman vastaanottanut tehdas
- kuljetusalue ja lähtövaraston sijainti
- tehdas- ja kuormainvaakamittauksen ajankohta
- siltavaa’an punnitustulos
- kuormainvaa’an punnitustulos
- puutavaralaji
- kauppatapa ja luovutusmittausmenetelmä
- kuorman kuljetusmatka
- kuljetusyrittäjän ja auton yksilöintitiedot

2.1.2 Aineiston käsittely ja laskennat

Aineistosta määritettiin kuormainvaa'an ja siltavaa'an punnitustulosten ero sekä analysointiin sen vaihtelua. Punnitusero laskettiin vähentämällä kuormainvaa'an punnitustuloksesta siltavaa'an punnitustulos. Punnituserosta laskettiin myös sen itseisarvo. Tämän lisäksi määritettiin kuormittain suhteellinen, prosentuaalinen punnitusero. Se laskettiin jakamalla kuormainvaa'an punnitustuloksen ja siltavaa'an punnitustuloksen erotus siltavaa'an punnitustuloksella ja kertomalla luku sadalla.

Aineistoa käsiteltiin kahdessa osassa. Ensin analysoitiin vain yhtä puutavaralajia sisältäviä kuormia ja niiden punnitustietoja. Nämä kuormat koostuivat vain yhdeltä lähtövarastolta ajetuista puista. Puhtaat, yhden puutavaralajin kuormat tunnistettiin aineistosta Microsoft Excelin jos-lausekkeen avulla. Kuormainvaaka- ja siltavaaka-aineiston yhdistäminen tehtiin IBM SPSS -tilastolaskentaohjelmassa kuormakoodin sekä puutavaralajitiedon perusteella. Aineiston tilastollinen analysointi tehtiin myös IBM SPSS -ohjelman avulla. Tutkimuksessa analysoitiin myös useampia puulajeja sisältävät kuormat. Tämä toteutettiin laskemalla kuorman eri puutavaralajien punnitustulokset yhteen ja muodostamalla kuormakohtaiset kokonaispunnitustulokset. Näitä kuormia analysoitiin yhdessä puhtaiden, yhden puutavaralajin kuormien kanssa. Sekakuormia sisältävästä koko aineistosta tutkittiin punnituseron kausivaihtelua sekä autokohtaisia eroja. Sen sijaan muiden taustamuuttujien, kuten kuljetusmatkan vaikutusta, tutkittiin vain puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla. Perusteena tälle valinnalle oli oletus siitä, että sekakuormat voivat aiheuttaa tuloksiin epätarkkuutta, kun kuorman kokonaispaino on jaettu useampaa osapunnitustulokseen.

Aineistosta pyrittiin poistamaan mahdolliset virrehavainnot tilastollisen selittävyyden parantamiseksi (taulukko 2). Aineistosta poistettiin alle kymmenen tonnin punnitustulokset siltavaa'an punnitustietojen perusteella. Tämä tehtiin, koska niiden todettiin vääristävän erityisesti suhteellisen punnituseron keskiarvoa. Aineistosta poistettiin myös kuormat, joiden suhteellinen punnitusero oli yli 35 prosenttia, koska niiden uskottiin olevan esimerkiksi kirjausvirheiden aiheuttamia. Analysoitu aineisto oli taulukon 3 mukainen. Aineiston laajuuden perusteella sen tilastollisen selittävyyden todettiin olevan jo itsessään hyvä, eikä tulosten tilastollisen testaamisen nähty olevan tarpeellista.

Taulukko 2. Aineistosta poistettujen kuormien lukumäärät tehtaittain jaoteltuina kolmeen eri syyluokkaan (puuttuva mittaustieto, pieni (< 10 t) kuormakoko, suuri suhteellinen (> 35 %) punnitusero).

Tehdas	Puuttuva mittaustieto	Pieni kuormakoko	Suuri punnitusero	Yhteensä
		Kpl		
A	233	25	2	260
B	1080	20	0	1100
C	866	54	2	922
D	2498	60	7	2565
E	1213	36	14	1263
F	1615	82	9	1706
Yhteensä	7505	277	34	7816

Taulukko 3. Kuormien, ajoneuvoyhdistelmien ja kuljetusyritysten kokonaismäärät lopullisessa, analysoidussa aineistossa.

Kuormatyyppi	Kuormamäärä	Ajoneuvoyhdistelmien määrä	Kuljetusyritysten määrä
		Kpl	
Yhden puutavaralajin kuorma	42448	544	44
Sekakuorma	52848	533	42
Yhteensä	95296	560	44

Kaikille kuormille määritettiin saapumiskuukausi ja -vuosi siltavaa'an mittauspäivämäärän perusteella. Sen perusteella voitiin tarkastella punnitusajankohdan vaikutusta havaittuun punnituseroon siltavaa'an ja kuormainvaa'an välillä. Puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla tutkittiin myös muiden taustamuuttujien vaikutusta punnituseroon. Kuormat luokiteltiin kuljetusmatkan perusteella kolmeen eri luokkaan, joiden luokkaväliksi määritettiin 70 kilometriä. Yhden puutavaralajin kuormien aineisto jaettiin myös viiteen kuormakokoluokkaan siltavaa'an punnitustuloksen perusteella: 10–40, 40–45, 45–50, 50–55 sekä yli 55 tonnia. Luokkien avulla tarkasteltiin kuormakoon vaikutusta punnituseroon. Puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla analysoitiin myös puutavaralajin vaikutusta punnituseroon. Se toteutettiin jakamalla puutavaralajit kuuteen eri puutavaralajiluokkaa: koivu-, kuusi-, ja mäntykuitupuuhun sekä koivu-, kuusi-, ja mäntytukkipuuhun. Analysoinnin ulkopuolelle jätettiin kuormat, jotka

sisälsivät haapakuitua tai lahopuuta. Lopuksi analysoitiin myös kauppataivan vaikutusta punnituseroon kuormien lähtövarastojen kauppatapatiedon perusteella. Tämä oli yksi peruste sille, miksi yhden puutavaralajin kuormat rajattiin aineistosta niin, että kuorman puutavarapölkyt olivat peräisin vain yhdeltä lähtövarastolta.

2.2 Haastattelututkimus kuormainvaakamittauksen nykytilasta ja tulevaisuudesta

2.2.1 Haastateltavien valinta

Tutkimuksen toisen osan muodosti kaksiosainen haastattelututkimus. Ensin haastateltiin kuormainvaakojen valmistajaa. Haastattelu päätettiin kohdentaa suomalaiseen vaakavalmistajaan, Tamtroniin. Haastateltavan valinnan perusteena oli, että Tamtron on suomalainen valmistaja ja laitteita tiedetään olevan käytössä paljon. Tämä näkyi myöhemmin myös haastatteluihin valikoituneiden yritysten autojen vaakalaitteissa. Muut vaakavalmistajat rajattiin haastattelun ulkopuolelle myös sen perusteella, että ne ovat ulkomaisia ja haastattelun toteuttaminen olisi ollut vaikeaa. Laajemmasta otannasta ei myöskään koettu saatavan tutkimuksellista hyötyä. Tamtronilta haastateltavina olivat kaksi tuotekehityksestä vastaavaa henkilöä.

Vaakavalmistajan ohella päätettiin haastatella tutkimuksen toimeksiantajalle urakoivien kuljetusyritysten toimihenkilöitä. Valinta kohdennettiin ainoastaan toimihenkilöihin, koska useimmilla autoilla tiedettiin olevan kaksi tai useampia kuljettajia. Tämän vuoksi yksittäisen kuljettajan vaikutusta punnitustarkkuuteen ei olisi haastatteluiden perusteella pystytty löytämään. Toimihenkilöiltä uskottiin saatavan riittävästi tietoa myös otantaan valikoituneen ajoneuvoyhdistelmän kuljettajasta tai kuljettajista sekä heidän työkokemuksistaan. Toimihenkilöiden haastattelemisen uskottiin antavan perusteellisen näkemyksen kuormainvaakojen käytöstä, koska useimmat kuljetusyritysten toimihenkilöistä ajavat myös itse puutavara-autoa. Haastattelututkimuksen otoskoko päätettiin rajata kahdeksaan haastatteluun kahdesta syystä: 1) aikaa haastattelujen toteuttamiseen oli hyvin niukasti ja 2) suuremman otoskoon ei uskottu lisäävän vastausten moninaisuutta ja siten tulosten luotettavuutta merkittävästi.

Haastateltavien valinta tehtiin tilastollisen analyysin tulosten perusteella, jossa vertailtiin aineiston ajoneuvoyhdistelmien punnituseron itseisarvon keskiarvoa. Vertailuun valittiin mukaan autot, joilla oli aineistossa vähintään 200 hyväksyttyä punnitustulosta. Punnitustuloksista rajattiin vertailun ulkopuolelle ne kuormat, joilla suhteellinen punnitusero oli yli 20 prosenttia. Autot järjestettiin punnituseron itseisarvon mukaan suurimmasta pienimpään. Valinnan perusteena oli joko tarkimpiin tai epätarkimpiin kuuluneen ajoneuvoyhdistelmän punnitustulokset. Haastateltavat valittiin niin, että autot olivat eri yrityksistä. Taulukossa 4 on esitetty haastatteluihin valitut punnitustarkkuudeltaan heikoimmat puutavara-autot ja taulukossa 5 vastaavasti punnitustarkkuudeltaan parhaimmat ajoneuvoyhdistelmät.

Taulukko 4. Haastatteluihin valitut punnituseroiltaan suurimmat ajoneuvoyhdistelmät, niiden keskimääräinen punnitusero (\bar{x}) ja keskihajonta (s), itseisarvollinen punnitusero (\bar{x}) ja keskihajonta (s) sekä suhteellinen punnitusero (\bar{x}) ja keskihajonta (s).

Auto	Kuormamäärä (kpl)	Punnitusero (t)		Punnituseron itseisarvo (t)		Suhteellinen punnitusero (%)	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1	506	1,83	2,59	2,42	2,05	3,91	6,12
2	268	0,84	2,79	2,18	1,93	1,93	6,13
3	259	1,09	2,49	2,05	1,78	2,49	5,29
4	236	-0,16	2,38	1,89	1,45	-0,15	5,25

Taulukko 5. Haastatteluihin valitut punnituseroiltaan pienimmät ajoneuvoyhdistelmät, niiden keskimääräinen punnitusero (\bar{x}) ja keskihajonta (s), itseisarvollinen punnitusero (\bar{x}) ja keskihajonta (s) sekä suhteellinen punnitusero (\bar{x}) ja keskihajonta.

Auto	Kuormamäärä (kpl)	Punnitusero (t)		Punnituseron itseisarvo (t)		Suhteellinen punnitusero (%)	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1	515	0,02	0,68	0,49	0,47	0,06	1,46
2	275	0,09	0,8	0,58	0,56	0,24	1,79
3	577	0,098	0,93	0,6	0,72	0,3	2,6
4	851	-0,18	0,9	0,62	0,68	-0,42	2,24

Haastatteluun valikoituneet yritykset olivat laajavastuisen yrittäjämallin mukaisesti urakoivia ja toimivia kuljetusyrityksiä. Jokainen haastatelluista yrityksistä operoi puutavarakuljetuksia usealla ajoneuvoyhdistelmällä. Yritysten koossa oli vaihtelua. Otannan suurimmilla yrityksillä oli käytössään lähes kaksikymmentä puutavara-autoa ja vastaavasti pienimmillä vain muutamia. Tilastollisen analyysin perusteella valikoidut ajoneuvoyhdistelmät olivat yritysten omia autoja yhtä poikkeusta lukuun ottamatta. Yksi yrityksistä valikoitui haastatteluihin aliurakoitsijan ajoneuvoyhdistelmän perusteella. Kyseistä aliurakoitsijaa ei kuitenkaan päätetty haastatella erikseen, koska autoa ja kuljettajaa koskevat tiedot saatiin avainyrityksen toimihenkilöltä.

2.2.2 Menetelmät

Vaakavalmistajalle sekä toimihenkilöiden haastatteluille valmisteltiin omat haastattelukysymykset (liitteet 1 ja 2). Vaakavalmistajan haastattelun tavoitteena oli saada erityisesti tietoa kuormainvaakojen teknologiasta ja sen kehityksestä tulevaisuudessa. Sen sijaan toimihenkilöiden haastattelun kysymykset suunniteltiin siten, että vastausten perusteella voitaisiin muodostaa yleiskäsitys siitä, mitä asioita kuormainvaakamittauksessa tulisi kehittää menetelmän käytön edistämiseksi ja millainen menetelmän käytön nykytila on puutavaran mittauksessa. Vastausten perusteella toivottiin saatavan käsitys punnitustarkkuuden seurannan tasosta ja siihen käytetyistä menettelyistä. Haastatteluiden vastausten avulla oli myös tavoitteena selittää punnitustulosten tilastollisessa analyysissä tehtyjä havaintoja punnituseron vaihtelusta sekä sen suuruudesta. Tämän vuoksi kuljetusyrityksistä haastatteluihin valittiin punnitustarkkuusjakauman ääripäät: ajoneuvoyhdistelmät (yritykset), joilla oli tutkimusaineiston suurimmat punnituserot ja ajoneuvoyhdistelmät, joilla oli pienimmät punnituserot. Autojen sekä niiden kuljettajien ominaisuuksista ja yritysten toimintatavoista pyrittiin löytämään eroja selittäviä syitä.

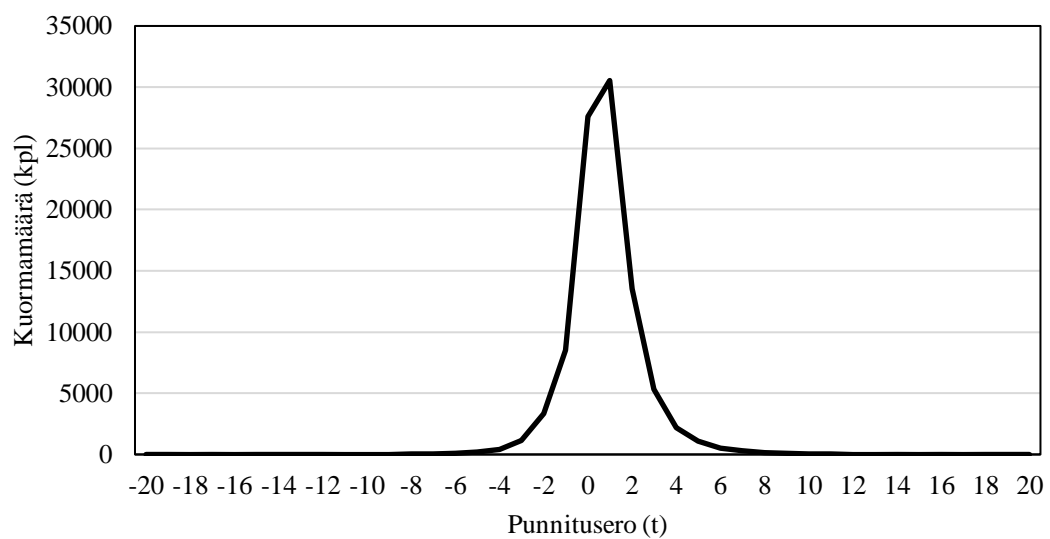
Molemmissa, sekä vaakavalmistajan että kuljetusyritysten toimihenkilöiden haastatteluissa, tutkimusmenetelmäksi valittiin puolistrukturoitu teemahaastattelu (Saaranen-Kauppinen ja Puusniekka, 2006). Menetelmä valittiin sen perusteella, ettei kysymysasettelu olisi liian ohjaava ja vastauksia rajoittava. Haastattelumenetelmää

valittaessa tiedostettiin, ettei tiedossamme ole, millaisia ajatuksia ja havaintoja vaakavalmistajalla tai kuljetusyrittäjillä on kuormainvaakamittauksesta. Haastattelut ja niiden tulosten raportointi päätettiin toteuttaa anonymisti, koska henkilöiden tai yritysten nimien ei koettu antavan lisäarvoa tutkimuksessa. Henkilötietojen paljastaminen olisi myös voinut rajoittaa haastateltavien halukkuutta tuoda esiin kriittisiä tai negatiivisia havaintoja ja ajatuksia. Tutkimuksen kannalta näiden asioiden kuuleminen oli kuitenkin ensiarvoisen tärkeää ja tärkein syy haastatteluiden tekemiselle. Anonyymien haastattelumenetelmän todettiin tukevan parhaiten tätä tavoitetta. Vaakavalmistajan mainitseminen koettiin kuitenkin merkitykselliseksi, koska vaakojen ominaisuuksissa on eroja valmistajittain. Vaakavalmistajan haastattelu tehtiin marraskuussa 2019 ja kuljetusyritysten toimihenkilöiden haastattelut tammikuun 2020 aikana.

3 KUORMAINVAAKOJEN PUNNITUSTARKKUUS

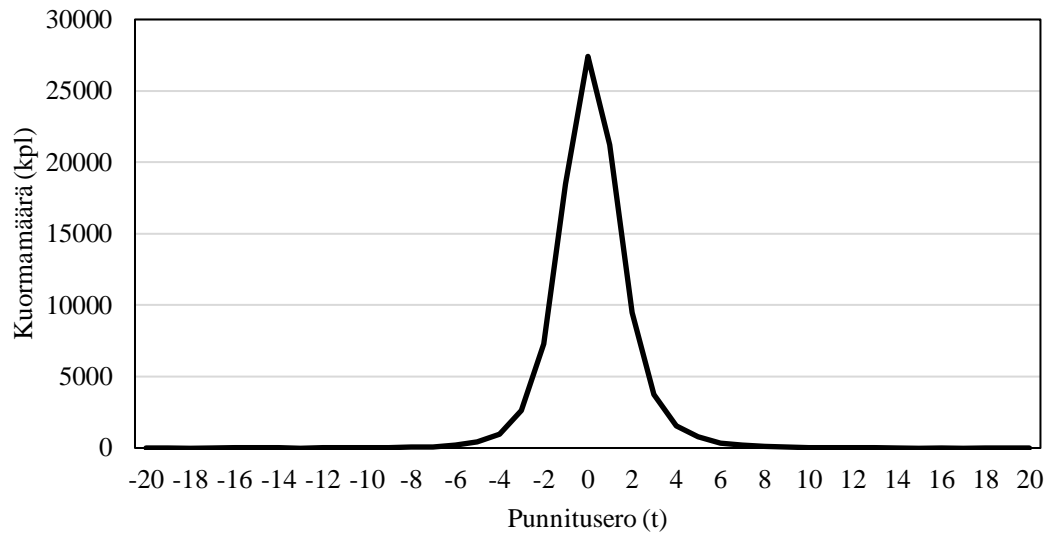
3.1 Punnitusero ja sen itseisarvo

Tilastollisen tarkastelun perusteella kuormainvaa'an ja siltavaa'an punnitustulosten välisen punnituseron todettiin olevan normaalijakautunut. Punnituseron keskiarvoa analysoitiin sekä tehtaittain että koko aineistosta. Puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla punnitusero oli kuvassa 4 esitetyn jakauman mukainen.



Kuva 4. Punnituseron (t) jakauma yhden puutavaralajin kuormilla. Vaihteluväli -18,0 – 17,4 tonnia

Koko aineiston punnituseron jakauman (kuva 5) voidaan todeta olevan yhtenevä puhtaiden, yhden puutavaralajin kuormien punnituseron jakauman kanssa. Sekakuormien vaikutuksesta punnituseron keskihajonta kasvoi lievästi. Puhtaiden kuormien ja koko aineiston välinen keskihajonnan ero oli kuitenkin vain 60 kg.



Kuva 5. Punnituseron (t) jakauma koko aineistossa. Punnituseron vaihteluväli aineistossa -18,0 – 17,4 tonnia.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös punnituseron keskiarvon kausivaihteluavaihtelua. Tehdaskohtainen tilastollinen tarkastelu tehtiin erikseen puhtaille, yhden puutavaralajin kuormille sekä koko aineistolle (taulukot 6 ja 7). Tehtaiden välisten erojen voidaan tulosten perusteella todeta olevan pieniä. Sekakuormilla punnitusero oli kaikilla tehtailla suurempi kuin yhden puutavaralajin kuormilla. Kuvaajan perusteella normaalijakautuneen punnituseron todettiin oletusten mukaisesti pienenevän havaintojen eli kuormien määrän kasvaessa.

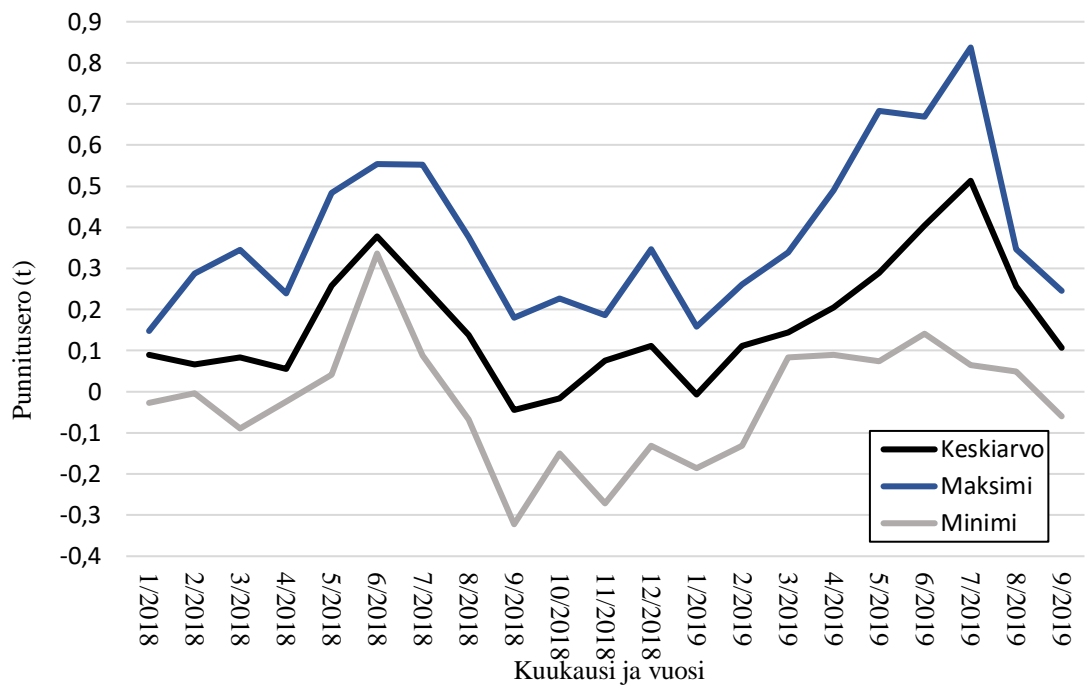
Taulukko 6. Punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja sen keskihajonta (s) tehtaittain puhtaille, yhden puutavaralajin kuormilla.

Tehdas	Kuormamäärä (kpl)	Punnitusero (t)	
		\bar{x}	s
A	1458	0,187	1,62
B	5735	0,207	1,64
C	5847	0,122	1,71
D	10403	0,132	1,56
E	7286	0,201	1,82
F	11719	0,084	1,67
Yhteensä	42448	0,142	1,67

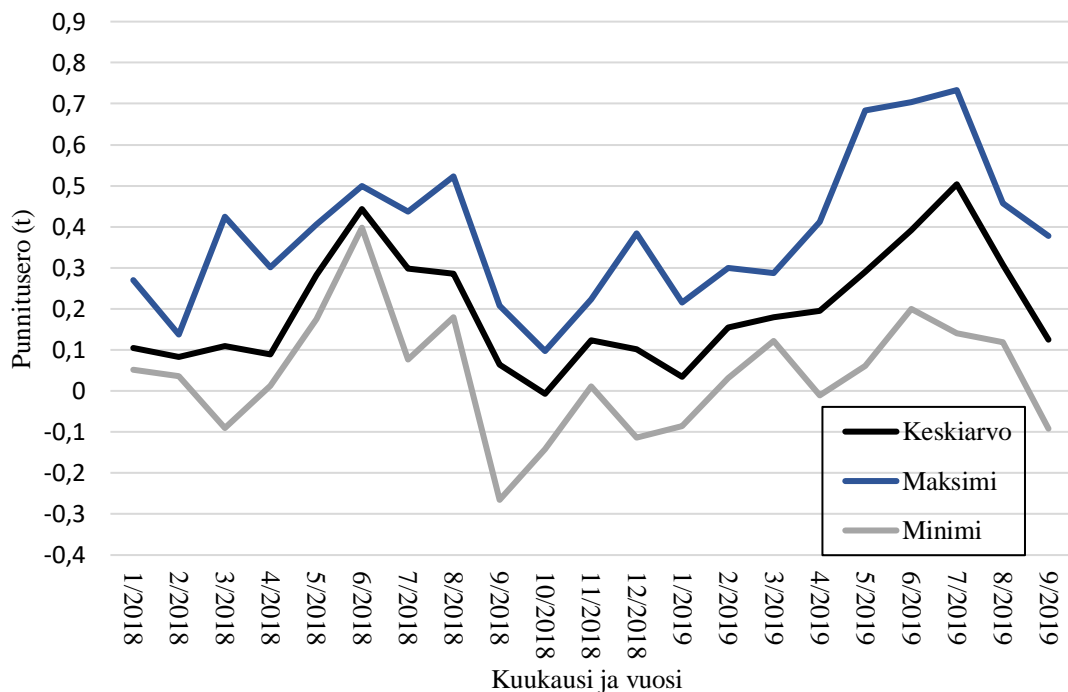
Taulukko 7. Punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s) tehtaittain aineiston kaikilla kuormilla.

Tehdas	Kuormamäärä (kpl)	Punnitusero (t)	
		\bar{x}	s
A	3370	0,28	1,66
B	12314	0,24	1,65
C	15253	0,187	1,72
D	20028	0,183	1,63
E	13913	0,201	1,86
F	30418	0,13	1,78
Yhteensä	95296	0,181	1,73

Punnituseron havaittiin vaihtelevan tarkastelujakson aikana. Kuvissa 6 ja 7 esitetyistä kuvaajista voidaan nähdä, että punnitusero kasvoi kesäaikana huhtikuusta syyskuulle. Vuonna 2019 punnitusero oli keskimäärin suurempi kuin vuonna 2018. Yhden puutavaralajin kuormilla punnituseron maksimi- ja minimiarvojen välinen ero oli keskimäärin suurempaa kuin koko aineistossa yhteensä.

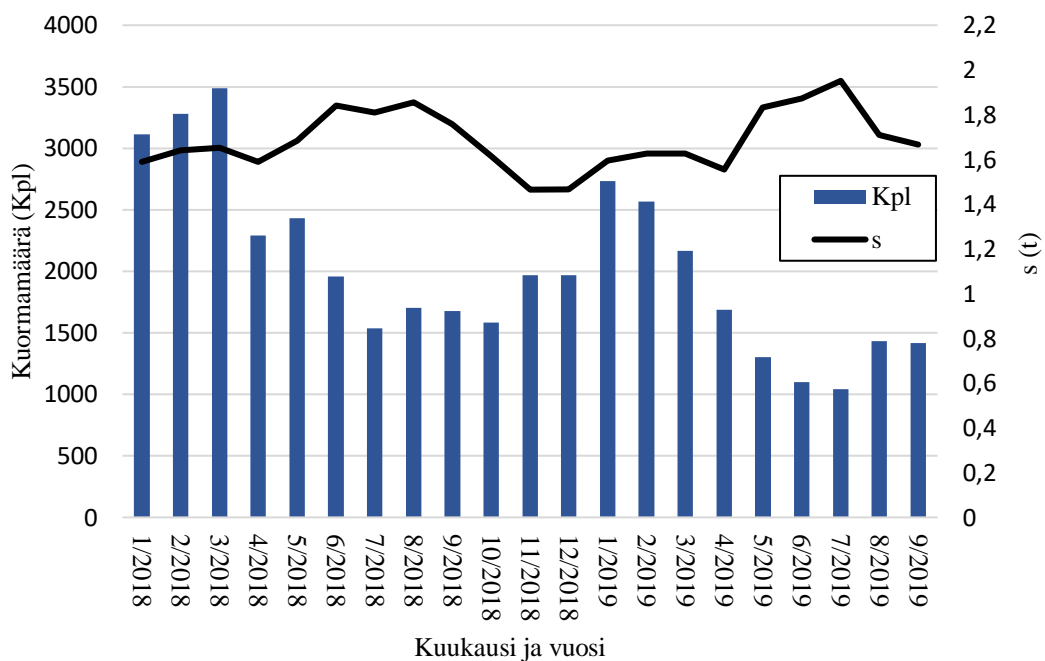


Kuva 6. Punnituseron keskiarvon, maksimiarvon ja minimiarvon vaihtelu puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla tarkastelujaksolla tammikuu 2018 – syyskuu 2019.

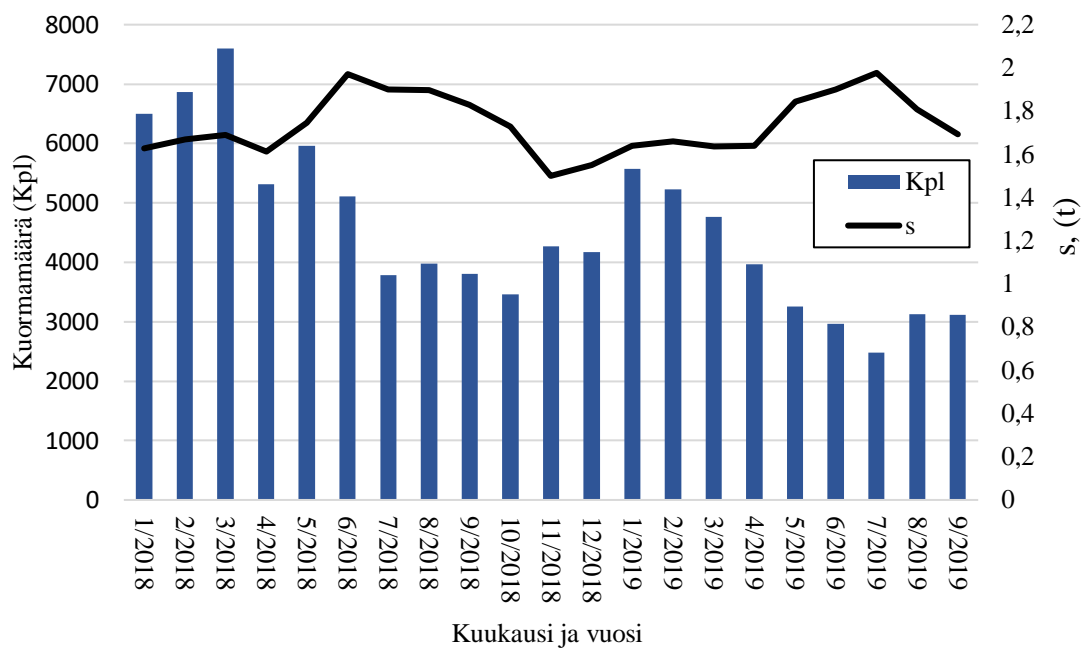


Kuva 7. Punnituseron keskiarvon, maksimiarvon ja minimiarvon vaihtelu puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla tarkastelujaksolla tammikuu 2018 – syyskuu 2019. Punnituseron ja kuukauden välistä korrelaatiota voidaan tarkastella kuvaajien avulla.

Niiden perusteella voidaan todeta, että punnituseron ja kuukauden välillä on riippuvuutta. Tähän vaikuttaa kuitenkin osaltaan havaintojen määrä. Kuormamäärän kasvaminen pienensi oletetusti punnituseron keskihajontaa (taulukot 6 ja 7 sekä kuvat 8 ja 9).



Kuva 8. Punnituseron keskihajonnan (s) suhde kuormamäärään (Kpl) kuukausittain yhden puutavaralajin kuormilla



Kuva 9. Punnituseron keskihajonnan (s) suhde kuormamäärään (Kpl) kuukausittain koko aineistossa.

Punnituseron keskiarvon itseisarvon voidaan huomata käyttäytyvän punnituseron tapaan eli se oli suurempi koko aineistolla. Erot aineistojen välillä ovat kuitenkin pieniä (taulukot 8 ja 9).

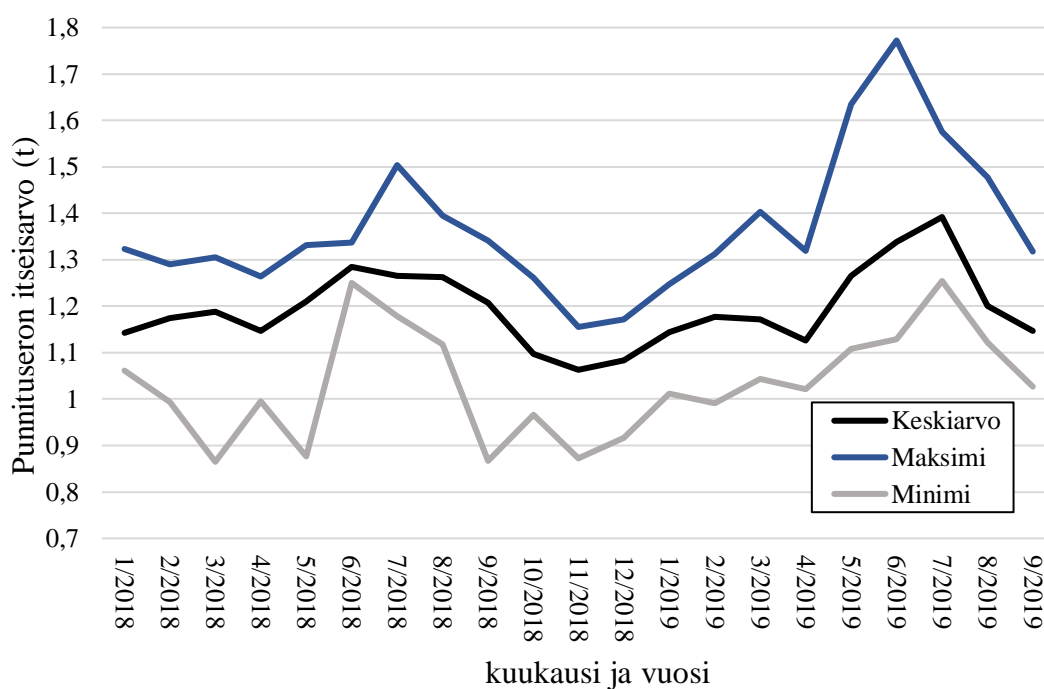
Taulukko 8. Punnituseron itseisarvo (\bar{x}) ja sen keskihajonta (s) tehtaittain puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla

Tehdas	Kuormamäärä (kpl)	Punnituseron itseisarvo (t)	
		\bar{x}	s
A	1458	1,07	1,2
B	5735	1,15	1,19
C	5847	1,22	1,21
D	10403	1,1	1,12
E	7286	1,3	1,3
F	11719	1,19	1,17
Yhteensä	42448	1,18	1,19

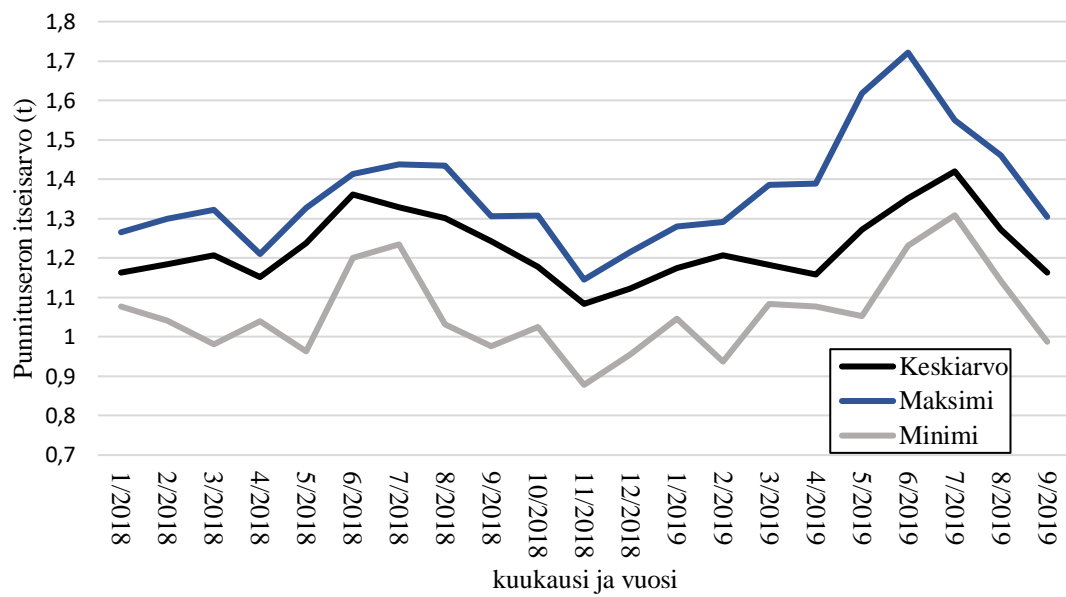
Taulukko 9. Punnituseron itseisarvon keskiarvo (\bar{x}) ja sen keskihajonta (s) tehtaittain koko aineistossa.

Tehdas	Kuormamäärä (kpl)	Punnituseron itseisarvo (t)	
		\bar{x}	s
A	3370	1,12	1,25
B	12314	1,16	1,21
C	15253	1,23	1,21
D	20028	1,14	1,17
E	13913	1,31	1,33
F	30418	1,25	1,27
Yhteensä	95296	1,22	1,24

Punnituseron kausivaihtelu oli myös punnituseron kausivaihtelun mukainen (kuva 10 ja 11). Puhtaiden yhden puutavaralajin kuormien sekä koko aineiston välillä ei myöskään havaittu merkittäviä eroja.



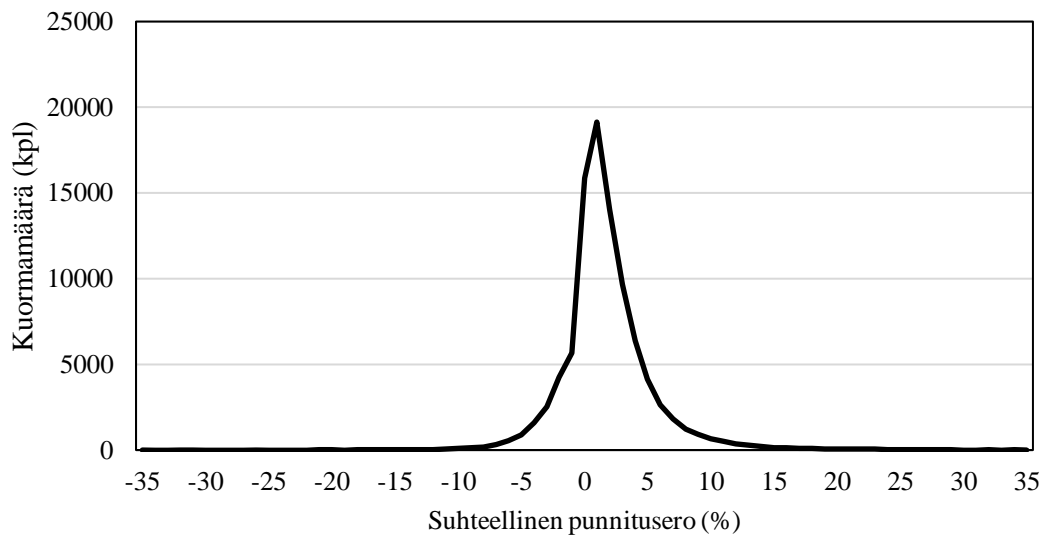
Kuva 10. Punnituseron itseisarvon keskiarvon, maksimiarvon ja minimiarvon vaihtelu yhden puutavaralajin kuormilla tarkastelujaksolla tammikuu 2018 – syyskuu 2019.



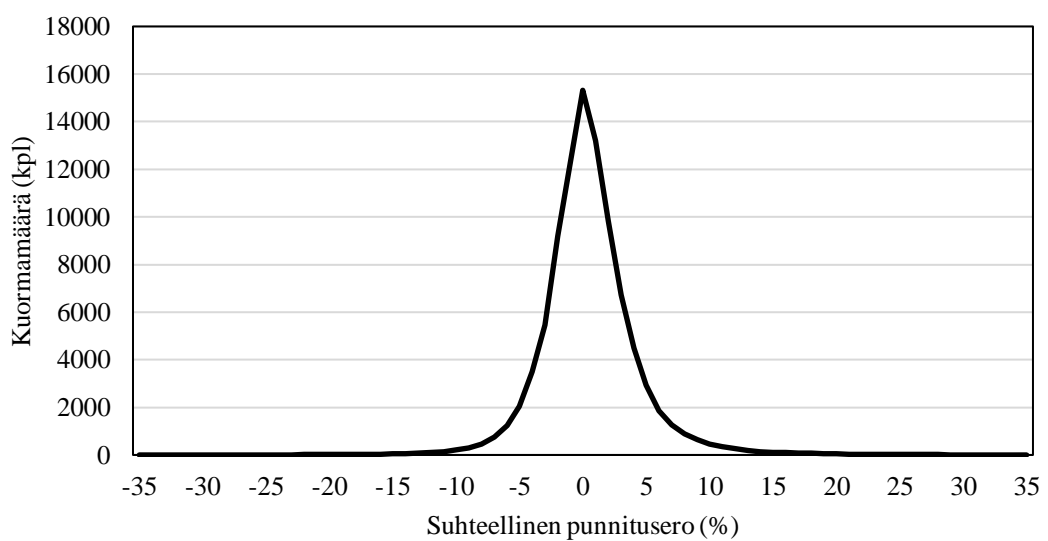
Kuva 11. Punnituseron itseisarvon (t) keskiarvon, maksimiarvon ja minimiarvon vaihtelu kaikilla kuormilla tarkastelujaksolla tammikuu 2018 – syyskuu 2019.

3.2 Suhteellinen punnitusero

Suhteellisen punnituseron todettiin olevan jakautunut yhden puutavaralajin kuormilla kuvan 12 jakauman mukaisesti. Kuten punnituserolla, myös suhteellisella punnituserolla keskihajonta kasvoi koko aineistolla verrattuna puhtaisiin, yhden puutavaralajin kuormiin (Kuva 13).



Kuva 12. Suhteellisen punnituseron (%) jakauma yhden puutavaralajin kuormilla. Vaihteluväli -34,3 – 34,4



Kuva 13. Suhteellisen punnituseron (%) jakauma koko aineistossa. Vaihteluväli -34,4 – 34,4 %.

Suhteellisen punnituseron todettiin olevan keskiarvollisesti pieni. Yhden puutavaralajin kuormien ja koko aineiston välillä ei havaittu merkitseviä tilastollisia eroja (taulukot 10 ja 11). Merkittäviä tehdaskohtaisia eroja ei myöskään havaittu.

Taulukko 10. Suhteellisen punnituseron keskiarvon (\bar{x}) ja keskihajonnan (s) suhde keskimääräiseen kuormakokoon (keskikoko) tehtaittain puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla.

Tehdas	Kuormamäärä (kpl)	Kuorman keskikoko (t)	Suhteellinen punnitusero (%)	
			\bar{x}	s
A	1458	47,15	0,37	4,24
B	5735	49,22	0,59	3,64
C	5847	48,68	0,37	3,84
D	10403	47,05	0,38	3,66
E	7286	47,84	0,58	4,32
F	11719	49,33	0,28	3,59
Yhteensä	42448	48,33	0,41	3,80

Taulukko 11. Suhteellisen punnituseron keskiarvon (\bar{x}) ja keskihajonnan (s) suhde keskimääräiseen kuormakokoon (keskikoko) tehtaittain koko aineistossa.

Tehdas	Kuormamäärä (kpl)	Kuorman keskikoko (t)	Suhteellinen punnitusero (%)	
			\bar{x}	s
A	3370	47,14	0,61	4,32
B	12314	49,02	0,59	3,64
C	15253	48,43	0,51	3,86
D	20028	46,92	0,50	3,79
E	13913	47,77	0,61	4,42
F	30418	49,22	0,37	3,83
Yhteensä	95296	48,30	0,49	3,91

Aineistosta laskettiin myös suhteelliselle punnituserolle 95 % sekä 68 % luottamusväliestimaatit (taulukko 12). Niiden perusteella toteutunutta punnitustarkkuutta voidaan suhteuttaa puutavaran mittauslainsäädännön (414/2013) mukaiseen mittaustarkkuusvaatimukseen. Aineiston kuormien 48,3 t keskimääräisellä kuormakoolla yhdellä erällä tarkkuusvaatimus on 7 %.

Taulukko 12. Suhteellisen punnituseron 95 %:n ja 68 %:n luottamusväliestimaatit puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla sekä koko aineistossa.

		Luottamusväli (%)	
Aineisto		95 %	68 %
Yhden puutavaralajin kuormat	Yläraja	7,86	4,17
	Alaraja	-7,04	-3,36
Koko aineisto	Yläraja	8,16	4,37
	Alaraja	-7,18	-3,38

Kun tarkastellaan suhteellisen punnituseron itseisarvoa, yhden puutavaralajin kuormien sekä koko aineiston tai tehtaiden välillä ei havaittu merkittäviä eroja (taulukot 13 ja 14).

Taulukko 13. Suhteellisen punnituseron itseisarvon (\bar{x}) ja sen keskihajonnan (s) suhde kuorman keskokoon tehtaittain puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla.

Tehtas	Kuormamäärä (kpl)	Kuorman keskokoko (t)	Suhteellisen punnituseron itseisarvo (%)	
			\bar{x}	s
A	1458	47,15	2,62	3,36
B	5735	49,22	2,42	2,70
C	5847	48,68	2,62	2,84
D	10403	47,05	2,45	2,74
E	7286	47,84	2,90	3,26
F	11719	49,33	2,49	2,60
Yhteensä	42448	48,33	2,60	2,83

Taulukko 14. Suhteellisen punnituseron itseisarvon (\bar{x}) ja keskihajonnan (s) suhde kuorman keskokoon tehtaittain kaikilla aineiston kuormilla.

Tehtas	Kuormamäärä (kpl)	Kuorman keskokoko (t)	Suhteellisen punnituseron itseisarvo (%)	
			\bar{x}	s
A	3370	47,14	2,64	3,50
B	12314	49,02	2,44	2,77
C	15253	48,43	2,65	2,84
D	20028	46,92	2,50	2,86
E	13913	47,77	2,94	3,35
F	30418	49,22	2,60	2,82
Yhteensä	95296	48,30	2,60	2,94

3.3 Taustamuuttujien vaikutus punnituseroon

Puutavaralajin vaikutuksen todettiin kuitenkin olevan vähäinen (taulukko 15). Koivukuitupuulla sekä kuusikuitupuulla punnituseron voidaan kuitenkin todeta olevan aineistossa keskiarvallisesti suurimpia. Koivutukkipuun punnituseroa selittää osaltaan pieni havaintojen eli kuormien määrä.

Taulukko 15. Punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s) sekä suhteellisen punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s) puutavaralajiryhmittäin puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla.

Puutavaralajiryhmä	Kuormamäärä (kpl)	Punnitusero (t)		Suhteellinen punnitusero (%)	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s
koivukuitupuu	7254	0,15	1,70	0,44	3,78
kuusikuitupuu	20563	0,20	1,70	0,53	3,94
mäntykuitupuu	13140	0,04	1,61	0,17	3,52
koivutukkipuu	52	-0,43	1,48	-0,63	4,32
kuusitukkipuu	480	0,07	1,58	0,31	3,94
mäntyukkipuu	149	0,06	1,46	0,22	3,60
Kaikki	41638	0,14	1,67	0,40	3,79

Tilastollisen tarkastelun perusteella kauppataavalla ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta punnituseron suuruuteen (taulukko 16). Yhtiön omilta tiloilta kuljetetuilla kuormilla punnitusero oli pienin, vaikka pystykauppapuita sisältävien kuormien osuus oli vertailuun käytetyssä puhtaiden, yhden puutavaralajin kuormissa suurin. Kokonaisuutena erot olivat kuitenkin pieniä.

Taulukko 16. Punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s) sekä suhteellisen punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s) kauppatapaluokittain puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla.

Kauppatapa	Kuormamäärä (kpl)	Punnitusero (t)		Suhteellinen punnitusero (%)	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s
Hankinta- ja käteiskauppa	3957	0,19	1,67	0,53	3,92
Pystykauppa	30399	0,16	1,70	0,45	3,89
Osto omilta tiloilta	8092	0,04	1,55	0,16	3,38
Kaikki	42448	0,14	1,67	0,41	3,80

Kuormakoon vaikutuksen punnituseroon (taulukko 17) todettiin olevan vähäinen. Oletetusti pienillä kuormilla suhteellisen punnituseron suuruus kasvaa, mutta punnituseroa tarkasteltaessa erot ovat pieniä. Merkittävä havainto kuitenkin on, että suuremmilla kuormilla kuormainvaaka on punninnut siltavaakaa vähemmän.

Taulukko 17. Punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s) sekä suhteellisen punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s) kuormakokoluokittain puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla.

Kuormakoko (t)	Kuormamäärä (kpl)	Punnitusero (t)		Suhteellinen punnitusero (%)	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s
10 – 40	2896	0,49	2,04	1,60	7,45
40 – 45	4869	0,89	1,89	2,07	4,43
45 – 50	13945	0,52	1,63	1,08	3,43
50 – 55	17922	-0,23	1,33	-0,42	2,54
55 -	2816	-1,02	1,80	-1,77	3,14
Kaikki	42448	0,14	1,67	0,41	3,80

Kuljetusmatkalla ei taulukon 18 mukaisesti todettu olevan vaikutusta punnituseron suuruuteen. Kuljetusmatkaluokkien välillä havaittiin vähäistä vaihtelua punnituseron suuruudessa, mutta keskihajonta oli luokkien välillä yhtenevä. Lyhyimmällä kuljetusmatkaluokalla punnitusero oli kuitenkin kaksinkertainen muihin luokkiin verrattuna. Keskimääräinen punnitusero oli tasoltaan kuitenkin alhainen.

Taulukko 18. Punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s) sekä suhteellisen punnituseron keskiarvo (\bar{x}) ja keskihajonta (s) kolmessa kuljetusmatkaluokassa puhtailla, yhden puutavaralajin kuormilla.

Kuljetusmatka (km)	Kuormamäärä (kpl)	Punnitusero (t)		Suhteellinen punnitusero (%)	
		\bar{x}	s	\bar{x}	s
0 – 70	10595	0,22	1,68	0,57	4,05
70 – 140	18711	0,11	1,68	0,33	3,80
≥ 140	13142	0,12	1,66	0,37	3,58
Kaikki	42448	0,14	1,67	0,41	3,80

4 VAAKAVALMISTAJAN HAASTATTELU

4.1 Tamtronin hydrauliset kuormainvaa'at ja punnitustarkkuus

Haastattelun kohteena oli Tamtron Oy. Kysymyksiin vastasivat kaksi tuotekehityksen parissa työskentelevää henkilöä. Tampereelta lähtöisin oleva yritys on keskittynyt erilaisiin punnitusratkaisuihin ja valmistaa vaakalaitteita useisiin käyttötarkoituksiin. Tamtron Timber -puutavaranosturivaaka on puutavara-autokäyttöön suunniteltu kuormainvaaka. Vaakalaite ei ole Tamtronin omaa tuotekehitystä, vaan perustuu vuonna 2010 yrityskaupan mukana ostettuun, aiemmin Loadmaster-tuotenimellä myytyyn ruotsalaisvalmisteiseen kuormainvaakaan.

Hydrauliseen punnitukseen perustuva Tamtron Timber -vaaka koostuu riipukkeesta sekä näyttöpäätteestä. Vaa'an paineanturi on sijoitettu kuormaimen jalustan läheisyyteen hydraulikkaletkuun, joka on yhteydessä riipukkeeseen. Tamtron Timber -vaa'assa punnitus tapahtuu painiketta painamalla tai automaattisesti, jonka jälkeen vaaka tulkitsee useita painearvoja. Taakan massa muodostetaan näiden mittaustulosten keskiarvona vaa'an ohjelmiston algoritmin laskennan perusteella.

Haastattelussa tuli esiin useita hydrauliseen paineeseen perustuvan vaa'an punnitustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Haastateltavien mukaan näiden tekijöiden vaikutukset vaakojen punnitustulosten luotettavuuteen ovat osoittautuneet merkittäviksi. Yksi yleisimmistä punnitusvirheiden aiheuttajista on talviaikana lämpötilan vaikutus vaakariipukkeen sisältämän öljyn kitkaan. Se kasvaa pakkasen vaikutuksesta lisäksi riipukkeen sisäistä öljynpainetta. Tämä aiheuttaa punnitustuloksiin yliarvioita. Pakkanen vaikuttaa myös kuormaajan riipukkeen liikkumiseen. Riipuke kiinnittyy kuormaajan puomiin sekä kouraan tappien avulla. Tappien voiteluun käytettävän rasvan kitka kasvaa pakkasella, joten kuormaimen riipukkeen geometria mukautuu normaaleja olosuhteita hitaammin kuormaimen liikkeisiin. Vastaavasti rasvaamattomuus heikentää riipukkeen liikkuvuutta talviaikana jäätyvän veden päästessä tappien väliin.

Kuormaimen käyttötavoilla on myös vaikutusta punnitustuloksiin. Äkkinäiset, nopeat liikkeet aiheuttavat paineen vaihteluita kuormaimen riipukkeen hydraulisessa piirissä. Tämän aiheuttaa yliarvioita punnitustuloksiin. Nostettavan taakan heiluminen aiheuttaa myös virheitä punnitustuloksiin. Nostettavien kappaleiden ominaisuudet

vaikuttavat taakan käyttäytymiseen nostettaessa ja näin ollen myös punnitustarkkuuteen. Pidemmillä kappaleilla heiluminen on useimmiten suurempaa ja aiheuttaa punnitustuloksiin yliarvioita. Näiden syiden vuoksi dynaamisen eli liikkeessä tehdyn punnituksen voidaan todeta olevan epätarkempaa kuin staattisen, paikallaan tehdyn punnituksen.

Vaakariipukkeen heilumisen vaikutusta on vuonna 2016 markkinoille tuodussa Tamtron Timber Wireless -vaa’assa pyritty ehkäisemään riipukkeeseen asennetun kiihtyvyysanturin avulla. Kiihtyvyysanturi tunnistaa riipukkeen heilumisen. Vaa’an algoritmi käyttää havaintoja hyödyksi ja pyrkii suodattamaan punnitustuloksista sen perusteella pois heilumisen aiheuttamia yliarvioita. Teknologia on todettu haastateltujen mukaan toimivaksi ja vähentävän kuljettajasta aiheutuvia punnitusvirheitä. Timber Wireless -mallistossa paineanturi sijaitsee Timber classic -vaa’an sijaan riipukkeessa. Vaa’an hydraulisen piirin öljytilavuus on myös pienempi, joka pienentää lämpötilan muutosten vaikutusta punnitustarkkuuteen. Timber Wireless -vaa’assa punnitustiedot siirtyvät riipukkeesta vaa’an näytölle langattoman yhteyden avulla. Vaakalaite tarvitsee toimiakseen riipukkeeseen asennettavat paristot, jotka vaihdetaan noin kahden viikon välein. Timber Wireless -mallin ongelmana on kuitenkin ollut riipukkeen teknologian huono toimintavarmuus. Tämän vuoksi Tamtron on lopettanut toistaiseksi Timber Wireless -kuormainvaa’an myynnin.

4.2 Tamtronin vaakojen punnitustarkkuuden seuranta ja tiedonsiirto

Tamtronin vaa’at kalibroidaan ja viritetään joko testipunnuksen avulla tehdyn tarkistusmittauksen tai tehtaan siltavaa’an antaman punnitustuloksen perusteella. Siltavaakavertailussa vaakalaitteelle ilmoitetaan kuormaa vastaava siltavaa’an punnitustulos. Vaakalaite ilmoittaa, jos punnitustulosten ero on liian suuri ja tarvitaan vaa’an virittämistä. Virittämisen avulla myös opetetaan vaakaa mittaamaan oikein. Virittämisen perusajatuksena on, että vaa’alle kerrotaan, mikä painearvo tarkoittaa tiettyä painoa. Tähän liittyy myös se, että virittäminen mukauttaa vaa’an ohjelmiston algoritmia mittaamaan mahdollisimman tarkkoja tuloksia. Jos vaa’alla on useita eri käyttäjiä, niin algoritmin säätäminen virittämisen avulla ei toimi suunnitellusti kuljettajakohtaisten käyttäjäerojen vuoksi.

Tamtronin Timber- vaakamallistossa punnitustulosten tiedonsiirtoon on kaksi eri tapaa. Haastateltujen mukaan vaa’at voidaan varustaa muistitikulla, johon punnitustietoja voidaan tallentaa ja myöhemmin siirtää metsäjärjestelmään. Muistitikku tuo vaakaan myös kuljettajakohtaiset muistipaikat, joista on hyötyä esimerkiksi kalibroinnissa ja vaa’an algoritmin opettamisessa kuljettajakohtaisesti. Muistitikulle punnitustiedot voidaan tallentaa myös nippukohtaisesti, jos kuormassa on esimerkiksi useamman eri myyjän puita. Vaaka tallentaa tiedot taulukkomuodossa ja niitä voidaan käsitellä esimerkiksi Microsoft Excelissä. Vaa’oissa, joita ei ole varustettu muistitikulla, punnitustietojen siirtäminen metsäjärjestelmään tapahtuu muistiinpanojen tai kuljettajan muistin perusteella. Kalibrointi- sekä viritystietojen hallintaan Tamtron Timber -vaakamallistossa ei ole tarjolla erillistä ratkaisua. Vaakalaite ei tallenna kalibrointien ja viritysten historiatietoja.

4.3 Tamtron One Timber -vaaka

Hydrauliseen paineeseen perustuvan Tamtron Timber malliston ongelmat ovat luoneet tarpeen kehittää aiempaa tarkempi ja toimintavarmempi kuormainvaaka. Vastauksena tähän Tamtron tuo uuden sukupolven vaakamalliston markkinoille vuonna 2020. Uusi One Timber -vaaka eroaa merkittävästi tällä hetkellä markkinoilla olevasta Timber-kuormainvaa’asta. Merkittävimpiä muutoksia aiempaan mallistoon on mittaustavan muuttuminen venymäliuska-anturiin perustuvaksi. Haastateltujen mukaan tämä parantaa merkittävästi kuormainvaa’an punnitustarkkuutta, koska sääolosuhteiden vaikutukset venymäliuska-anturiin ovat vähäisiä. Hydrauliseen paineeseen perustuvalla punnitustekniikalla toimivien vaakojen parantaminen on todettu yrityksessä vaikeaksi, mikä on ollut syynä teknologian muutokseen. Lämpötilalla ja sen muutoksilla on kuitenkin vaikutusta venymäliuska-anturin valmistusmateriaaliin, minkä seurauksena myös venymäliuska-anturitekniikkaan perustuvilla vaakalaitteilla esiintyy suuruudeltaan pieniä punnitusvirheitä lämpötilan vaihtuessa.

Tamtronin uudessa vaa’assa punnitustulokset siirtyvät riipukkeelta vaa’an näytölle langattomasti ja riipuke on varustettu noin kaksi kuukautta kestäväällä litiumioniakulla. One Timber -kuormainvaa’an tiedonsiirto perustuu One Cloud -nimeä kantavaan

pilvipalveluun. Tämä mahdollistaa punnitustietojen tarkastelun sijainnista ja ajankohdasta riippumatta. Tällä hetkellä Tamtron One Timber -vaaka ja One Cloud -pilvipalvelu on kehitetty tiedonsiirroltaan yhteensopivaksi metsätietojärjestelmien kanssa. Pilvipalvelun kautta vaa'alle voidaan siirtää myös varastotietoja metsätietojärjestelmästä. Vaakalaite on varustettu 4g-modeemilla, jonka kautta vaaka on yhteydessä internet-verkkoon. Yhteyden toimiminen vaatii verkkoyhteyskortin asettamista vaakalaitteeseen. Jos vaaka ei ole punnituksen aikana yhteydessä internet-verkkoon, niin punnitustiedot voidaan siirtää myös myöhemmin vaa'an muistipaikalta pilvipalveluun, kun verkkoyhteys voidaan muodostaa.

Haastateltujen mukaan uusi vaakamallisto tarjoaa myös aiempaa yksityiskohtaisemmat punnitustiedot. Vaaka tallentaa jokaisesta punnitusta taakasta painon lisäksi punnitusajankohdan sekä sijainnin GPS-tietojen perusteella. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi puutavaraeräkohtaisten punnitustietojen erottamisessa kuorman kokonaispainosta tunnistamalla varastot sijaintitiedon perusteella. Sijaintitiedon ansiosta punnitustiedot ovat aiempaa paremmin jäljitettävissä. Vaa'an kosketusnäyttöön pohjautuva näyttöpäätte (kuva 14) on haastateltujen mukaan monipuolinen ja helppokäyttöinen.



Kuva 14. Tamtron One Timber -vaa'an kosketusnäyttöteknologiaan perustuva näyttöpäätte (kuva: Tamtron Oy, 2019).

5 KULJETUSYRITYSTEN TOIMIHENKILÖIDEN HAASTATTELUT

5.1 Kuormainvaa'an käyttö kuljetusyrityksissä

Vastausten perusteella kuormainvaakoja käytettiin aina kuormauksen yhteydessä poikkeustilanteita lukuun ottamatta. Yritysten kaikki puutavara-autot oli varustettu kuormainvaa'alla, jonka mainittiin olevan myös tilaajan vaatimus. Yksi haastatelluista toimihenkilöistä kuitenkin kertoi, ettei kuormainvaakaa käytetä juuri lainkaan yrityksessä laitteiden teknisten ongelmien vuoksi. Tässäkin yrityksessä kuormakokoa kuitenkin seurattiin autojen ilmajousitukseen perustuvan vaakajärjestelmän avulla.

Perusteena kuormainvaa'an käytölle ja kuormapainojen seurannalle yritykset mainitsivat kuormakoon hallinnan tärkeyden. Yritysten toimihenkilöt korostivat ajoneuvoyhdistelmien kuljetuskapasiteetin tehokasta hyödyntämistä. Kuormainvaa'an käytön syynä on osaltaan se, että urakanantajat edellyttävät yleensä kuorman esipunnitustietojen lähettämistä kuormauksen jälkeen yrityksen tietojärjestelmään. Tärkeä peruste kuormainvaakamittauksen käyttämiselle on myös ylikuormien välttäminen, johon menetelmä on tehokas apuväline. Sallittujen kokonaispainojen ylittäminen heikentää liikenneturvallisuutta, mikä tiedostettiin myös haastatteluun valikoituneissa yrityksissä. Toimihenkilöiden vastauksissa tuli esiin, etteivät yritykset saa maksua sallitun ajoneuvoyhdistelmän kokonaispainon ylittävästä osuudesta. Ylikuormien välttämiseen oli näin ollen myös taloudelliset perusteet. Urakanantajan seuranta ja palautteenantaminen sallittujen kokonaispainojen ylittämisestä mainittiin myös useammassa haastattelussa. Sen voidaan todeta olevan yksi motivaation lähde aktiiviseen kuormakokojen seurantaan. Kuljetusyrityksissä koetaan tärkeänä täyttää tilaajan asettamat vaatimukset ja odotukset puutavaran autokuljetukselle. Myös kuormainvaa'an käyttöaktiivisuutta mainittiin seurattavan urakanantajan taholta.

Kuormainvaa'an käyttö yrityksissä on pääosin kuljettajan vastuulla. Toimihenkilöt kuitenkin mainitsivat, että kuormainvaa'an käyttöosaaminen varmistetaan aina jokaisessa yrityksessä uuden kuljettajan työhön perehdyttämisen yhteydessä. Vaa'an lopullisen käytön mainittiin kuitenkin olevan kuljettajien vastuulla ja siihen ei puututa, ellei ongelmia ilmene. Yritykset soveltavat kuormainvaa'an käyttöön urakanantajan ohjeistusta, joka perustuu Metsäteho Oy:n (2018) kuormainvaa'an kalibrointi- ja

viritysohjeeseen. Kuljettajien mainittiin myös neuvovan toisiaan vaakalaitteiden käytössä.

Yritysten välillä oli eroja toimintatavoissa, miten punnitustulokset siirretään metsätietojärjestelmään. Osa toimihenkilöistä kertoi, että punnitustiedot kirjataan järjestelmään muistiinpanojen tai kuormainvaa'an näytöstä matkapuhelimella otetun kuvan perusteella. Sen sijaan osa toimihenkilöistä sanoi, että tiedonsiirto tapahtuu ainoastaan muistinvaraisesti. Erillä, joilla kuormainvaakamittaus oli maksuperusteena, punnituksen jälkeen näytöstä otettiin usein kuva punnitustuloksen dokumentoimiseksi.

5.2 Ajoneuvoyhdistelmät ja niiden kuljettajat

Lähes kaikissa haastatteluun valikoituneissa ajoneuvoyhdistelmissä oli käytössä Tamtronin hydrauliseen punnitukseen perustuva Timber-vaakalaite. Vaakalaitteet olivat autoissa pääosin vain muutaman vuoden ikäisiä. Poikkeuksena tästä oli neljänneksi suurimman keskimääräisen punnituseron tuottanut auto. Sen vaakalaite oli vanhempi Loadmaster 2000 -mallinen, hydraulinen kuormainvaaka. Kyseisen vaakamallin myynti on päättynyt vuonna 2009 (Melkas 2010). Sen lisäksi kolmanneksi tarkimmassa autossa oli käytössä Intermercaton valmistama vaaka (Melkas 2010).

Muutamissa aineistoon valikoituneissa autoissa oli käytössä Tamtronin valmistama Timber Wireless -vaaka, jossa punnitustulokset siirtyvät kuormaimen riipukkeelta langattomasti näyttöpäätteelle (Tamtron Oy, 2019). Näissä vaaissa mainittiin olevan erityisen paljon vikoja. Suurimman keskimääräisen punnituseron tuottaneessa autossa mainittiin olevan kyseinen vaakalaite. Siinä oli ollut yrityksen toimihenkilön mukaan runsaasti toimintahäiriöitä tarkasteltuna ajanjaksona. Kyseisen yrityksen toimihenkilön mukaan yrityksessä turvaudutaan kuormainvaakojen sijaan ilmajousitukseen perustuvan vaakajärjestelmän punnitustietoihin. Se koettiin yrityksessä kuormainvaakamittausta tarkemmaksi ja toimintavarmemmaksi mittausmenetelmäksi. Kyseisen yrityksen, suurimman keskimääräisen punnituseron tuottanut ajoneuvoyhdistelmä oli kuitenkin varustettu rautajousituksella, joten tätä mahdollisuutta ei ollut käytettävissä.

Useammat toimihenkilöt mainitsivat yrityksissään käytettävän ajoneuvon ilmajousitukseen perustuvan vaakajärjestelmän punnitustietoja kuormainvaa'an ohella. Ilmajousitusvaa'an tulosten perusteella mainittiin korjattavan kuormainvaa'an punnitustulosta sekä seurattavan vaa'an punnitustarkkuutta. Useampi haastateltu toimihenkilö mainitsi ilmajousitusvaa'an punnitustarkkuuden olevan kokemusten perusteella kuormainvaakaa parempi ja yltävän sadan kilon tarkkuuteen. Huomattavaa on, että suurimman punnituseron ajoneuvoyhdistelmiä yhdistävänä tekijänä tässä tutkimuksessa oli se, että kyseiset yhdistelmät olivat varustettu rautajousilla. Punnitustarkkuudeltaan kolmanneksi epätarkin auto oli kuitenkin ilmajousitteinen, mutta siinä ei ollut mahdollisuutta tarkastaa kuormapainoa auton järjestelmän avulla.

Otannassa valikoituneiden autojen kuljettajat olivat pääosin kokeneita ammattilaisia. Poikkeuksena tästä oli toiseksi suurimman punnituseron tuottanut ajoneuvoyhdistelmä, jossa oli yrityksen toimihenkilön mukaan nuori, aloitteleva kuljettaja. Samassa ajoneuvoyhdistelmässä oli ollut tarkastelujakson loppupuolella myös toinen, puukuljetuksissa kokematon kuljettaja. Lähes jokaisessa autossa oli ollut ainakin osan ajan tarkastellusta ajanjaksosta kaksi tai useampia kuljettajia. Ainoastaan neljänneksi suurimman keskimääräisen punnituseron tuottanutta ajoneuvoyhdistelmää ajoi yksi kokenut kuljettaja.

5.3 Punnitustarkkuuden seuraaminen yrityksissä

Punnitustarkkuuden seurantaan liittyvissä käytännöissä oli oletusten mukaisesti eroja yritysten välillä. Yrityksille yhteistä kuitenkin oli, että punnitustarkkuutta seurattiin jatkuvasti tehtaiden puutavaravastaanoton siltavaa'an punnitustulosten perusteella. Osa yrityksistä käytti vaakojen kalibroimiseen ja punnitustarkkuuden seurantaan ainoastaan siltavaakaa. Haastatteluissa mainittiin myös, ettei vaa'an virittämistä saa suorittaa vain yhden kuorman tuloksen perusteella. Jotta systemaattinen punnitusero voidaan todentaa, tarvitaan useampia punnitustuloksia.

Kuudessa yrityksessä testipunnuksia käytettiin punnitustarkkuuden seurantaan ja vaa'an kalibroimiseen. Osassa näistä yrityksistä testipunnuksen käyttäminen oli yleisempää kuin toisissa. Useampi haastateltu sanoi, ettei testipunnuksen käyttäminen

ole ongelmatonta. Testipunnuksen mainittiin olevan useissa tapauksissa myös kevyempi kuin kuormaimella punnittavat puutavarataakat. Se saattaa heidän mukaansa vaikuttaa kuormainvaa'an antamaan punnitustulokseen, koska taakka käyttäytyy kuormattaessa eri tavalla. Yksi toimihenkilö myös mainitsi, että on havainnut kuljettajien tekevän virheitä testipunnuksen käytössä. Metsätehon kuormainvaa'an kalibrointi- ja viritysohjeen (2018) mukaisesti punnusta olisi nostettava noin kaksikymmentä kertaa, jotta todellinen punnitustarkkuus saadaan todennettua. Se ei kuitenkaan hänen mukaansa yleensä toteudu. Yksi toimihenkilö myös toivoi, että tehtaille saataisiin enemmän vapaasti kuljettajien käytössä olevia testipunnuksia. Tämä helpottaisi kuormainvaa'an punnitustarkkuuden ylläpitoa.

Puutavaranmittauksen neuvottelukunnan suositus mittalaitteiden omavalvonnasta (2019) edellyttää, että vaakalaitteelle tehdyt huollot sekä kalibrointi ja viritystiedot taltioidaan ja säilytetään vähintään kahden vuoden ajan. Haastatteluiden perusteella kuljetusyritykset eivät tallenna tietoja autokohtaisiin lokikirjoihin, vaan ainoastaan urakanantajan metsätietojärjestelmiin. Vaakojen virityksiä tai kalibrointeja ei kuitenkaan useissa tapauksissa kirjattu erikseen, vastoin puutavaranmittauksen neuvottelukunnan (2019) suositusta. Haastatteluiden perusteella yleinen virheellinen käsitys oli, että metsätietojärjestelmän automaattisesti tallentamat siltavaa'an ja kuormainvaa'an väliset punnituserot riittävät omavalvontavaatimuksen täyttämiseksi. Näin ollen puutavaranmittauksen neuvottelukunnan suositus mittalaitteen omavalvonnasta ei tältä osin täyty. Haastattelututkimuksen perusteella mittalaitteiden punnitustarkkuuden seuranta ja ylläpito oli kuitenkin hyvällä tasolla.

5.4 Punnitustarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Haastatellut yritysten toimihenkilöt mainitsivat useita erilaisia tekijöitä, jotka heikentävät kuormainvaakojen punnitustarkkuutta. Merkittävimpiä hydrauliseen paineeseen perustuvien vaakojen punnitustarkkuutta heikentäviä tekijöitä ovat sääolosuhteet ja lämpötilan vaihtelut. Jokainen haastateltu yrittäjä mainitsi, että jos vaa'an riipukkeen öljy on kylmää, niin vaakalaite antaa yliarvioita. Tämä on ongelmana talvipakkasilla ja erityisesti päivän ensimmäisillä kuormilla. Öljyn lämpötila saattaa aiheuttaa ongelmia punnitustarkkuudelle myös kesäaikana. Kesäpäivinä lämpötilan vaihtelut voivat olla suuria ja auringon säteily voi lämmittää nosturin riipuketta ja sen sisältämää öljyä. Myös vaakalaitteiden muut häiriöt aiheuttivat haastateltavien mukaan toimintahäiriöitä. Yksi toimihenkilö esimerkiksi mainitsi nosturin työvalojen jännitteen sekoittaneen vaa'an toiminnan. Vaakalaitteissa on haastateltujen toimihenkilöiden mukaan esiintynyt myös muita toimintaa ja punnitustarkkuutta heikentäviä vikoja. Niitä ovat aiheuttaneet esimerkiksi sähköjohtojen riittämättömät kosteussuojaukset käyttöolosuhteet huomioon ottaen.

Jokainen haastatelluista toimihenkilöistä nosti esiin myös kuormattavien pinojen ominaisuudet punnitustarkkuuteen vaikuttavana tekijänä. Jos pinot ovat heikkotasoisia, esimerkiksi ladottu huonosti, niin kuormaaminen on vaikeampaa ja nosturin käyttäjä joutuu tekemään ylimääräisiä liikkeitä. Huonolaatuisista pinoista kuormattaessa pölkkyjen päitä joudutaan esimerkiksi tasaamaan, mikä lisää ylimääräisiä liikkeitä kuormattaessa. Myös pinojen korkeus vaikuttaa punnitustarkkuuteen. Kokemusten perusteella punnitusvirhe kasvaa, jos pino on ajoneuvoyhdistelmää korkeampi eli noin 4,4 metriä. Myös auton sijainnilla suhteessa pinoon on vaikutusta. Jos puutavaraa joudutaan kurottamaan kaukaa, niin se lisää auton ja nosturin epävakautta ja aiheuttaa todennäköisesti punnitusvirheitä. Punnitustarkkuutta heikentää haastateltavien mukaan myös nosturin huono tuenta, joka voi johtua myös tien pehmeystä. Vaikka varastojen suunnitteluun ja toteuttamiseen kiinnitetään huomiota työturvallisuuden parantamiseksi sekä kaukokuljetuksen helpottamiseksi, niin haastateltujen toimihenkilöiden mukaan se ei kuitenkaan aina riitä.

Nosturia käytävällä kuljettajalla on myös suuri vaikutus punnitustarkkuuteen. Kaikki haastateltavat korostivat sitä, että sujuva nosturin käyttäminen parantaa merkittävästi

punnitustarkkuutta vähentämällä kuormattavan taakan heilumista. Tämä onnistuu todennäköisemmin kokeneilta kuljettajilta. Yksi toimihenkilö mainitsi myös nosturikohtaiset erot ja niiden vaikutuksen nosturin käytön sujuvuuteen. Hänen mukaansa esimerkiksi erimerkkisellä tai muuten ominaisuuksiltaan, kuten ohjausmekanismiltaan, erilaisella nosturilla kuormaaminen voi heikentää punnitustarkkuutta kokeneellakin kuljettajalla.

Punnitustarkkuutta heikentää lisäksi huolimaton nosturin ja vaa'an käyttäminen. Vaa'an punnituksen tapahtuessa antaman merkkiäänäen mainittiin olevan heikko ja saattavan jäädä kuljettajalta kuulematta. Tämä osaltaan mahdollista, että kuormattuja taakkoja voi jäädä punnitsematta. Kuljettajan onkin tarpeellista kuormauksen yhteydessä tarkkailla vaa'an toimintaa. Sen mainittiin olevan kuitenkin haastavaa erityisesti kokemattomille kuljettajille. Täsmällisyyden ja huolellisuuden merkitys vaakalaitteen käytössä on siis tärkeää. Yhtä haastateltavaa lukuun ottamatta kaikki toimihenkilöt myös mainitsivat varsinkin kokeneiden kuljettajien tarvittaessa myös korjaavan punnitustuloksia syöttäessään niitä metsäyhtiön tietojärjestelmään oman arviointikyvyn perusteella. Yksi toimihenkilö mainitsi ohjaavansa kokeneille kuljettajille sellaisten puutavaraerien kuljettamisen sekä punnitsemisen, joissa kuormainvaakamittaus on luovutusmittausmenetelmänä puukaupassa.

Kuljettajien kuormaus- ja vaa'ankäyttötavoissa olevat ”käsialaksi” kutsutut erot ovat haastateltujen mukaan myös nähtävissä vaa'an punnitustuloksissa, jos samaa vaakalaitetta käyttää useampi kuljettaja. Kuljettajien välillä mainittiin olevan eroja siinä, missä kohdassa taakan nostamista punnitusnappia painetaan. Toimihenkilöt, joiden yrityksissä oli käytössä kuljettajan työtapoja huomioivia ja niiden mukaan punnitusta mukauttavia vaakoja, mainitsivat niiden vähentävän oikein käytettynä punnitusvirhettä. Kyseisissä vaa'oissa on mahdollisuus käyttää useampia eri kuljettajaprofiileita. Jos ominaisuutta ei käytetä niin punnitustarkkuuden on todettu heikentyvän.

Kuormattavan puutavaran ominaisuuksilla mainittiin myös olevan merkitystä punnitusvirheen muodostumiseen. Erityisesti puun omapainolla mainittiin olevan vaikutusta kuormaamiseen. Jos puu on kevyttä, niin täyden kuorman saaminen vaatii enemmän asettelua. Se lisää ylimääräisiä liikkeitä kuormaimen käytössä ja lisää haastateltujen kokemuksien perusteella myös mahdollisuutta punnitusvirheen

muodostumiselle. Tämä saattaa osaltaan heikentää punnitustarkkuutta kesäaikana varsinkin koivukuitupuukuormilla.

Haastatteluissa mainittiin puun omapainon vaihtelut kuljetuksen aikana. Erityisesti keväällä kuormattava puu saattaa olla märkää kuormauksen aikana. Auringon lämpö saattaa haihduttaa puusta vettä kuljetuksen aikana, mikä saattaa aiheuttaa punnituseroa kuormainvaa'an ja siltavaa'an välille.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa käytetty aineisto oli laaja, jonka perusteella voidaan todeta, että sen tilastollinen selittävyys oli hyvä. Tämän tutkimuksen punnitustarkkuutta kuvaavien tulosten voidaan siksi perustellusti olettaa olevan yleistettävissä kaikkeen puutavaran autokuljetuksen yhteydessä tapahtuvaan kuormainvaakamittaukseen. Aineistoa rajattiin vain harkitusti, koska suuren otoskoon ajateltiin poistavan mahdollisten virhetulosten aiheuttamaa tilastollista harhaa. Aineiston tarpeetonta rajaamista haluttiin myös välttää, koska ei voitu yksiselitteisesti todeta, millaiset punnituserot eivät ole enää todenmukaisia. Haastateltavien valintaperusteissa rajausta päätettiin tiukentaa, koska yksittäisten ajoneuvoyhdistelmien punnitustuloksia oli vain muutamia satoja.

Aineiston punnitustulosten voidaan todeta olevan itsessään luotettavia ja punnituserojen laskentaan käytetyt matemaattiset menetelmät olivat yksinkertaisia. Tutkimuksessa ei myöskään käytetty tilastollista mallintamista. Laskennat on tehty suoraan punnitustulosten perusteella, jotka kerättiin metsäyhtiön tietojärjestelmästä. On epätodennäköistä, että niiden taltioimisessa olisi tapahtunut virheitä. Kuormainvaakamittauksen punnitustulosten tallentaminen metsätietojärjestelmään tapahtuu kuitenkin usein kuljettajan muistinvaraisesti. Tätä virhemahdollisuutta ei voida täysin poissulkea ja sen merkitystä on vaikeaa arvioida. Punnituseron laskemisessa oletettiin tehtaan puutavaravastaanoton siltavaa'an mittaavan todellista massaa. Ei kuitenkaan voida täydellä varmuudella sanoa, ettei siltavaa'an punnitustuloksissa esiintyisi virheitä.

Yritysten toimihenkilöiden haastatteluiden tulosten voidaan todeta olevan itsessään luotettavia. Haastateltavat oli valittu aineiston perusteella ja heillä oli kaikissa tapauksissa omakohtaisia kokemuksia kuormainvaakamittauksesta. Haastattelututkimuksen selittävyttä heikentää kuitenkin sen rajallinen otoskoko. Ei voida myöskään todistaa, että ovatko haastateltujen esittämät väittämät esimerkiksi vaakojen punnitustarkkuuteen vaikuttavista tekijöistä todenmukaisia ja yksiselitteisiä. Tämän vuoksi haastattelututkimuksen vastauksiin pitää suhtautua varauksella. Haastateltavien näkemysten ja punnitustarkkuusanalyysin tulosten välillä on kuitenkin

havaittavissa johdonmukaisia riippuvuuksia, jotka vahvistavat haastattelututkimuksen perusteella tehtyjä päätelmiä. Vaakavalmistajalle tehty haastattelu helpotti myös toimihenkilöiden vastausten arvioimista, kun niitä voitiin vertailla. Vaakavalmistajan haastattelun voidaan todeta olleen tarpeellinen myös siksi, että haastatteluihin valikoituneissa ajoneuvoyhdistelmissä oli yhtä lukuun ottamatta Tamtronin valmistamat vaa'at.

6.2 Tulokset

6.2.1 Kuormainvaakojen punnitustarkkuus

Punnitustietoja analysoimalla todettiin, että kuormainvaakojen punnitustarkkuus on keskimääräisesti puutavaran mittauslainsäädännön asettaman tarkkuusvaatimuksen mukainen. Normaalijakautuneen punnituseron keskiarvo 95 296 kuormalla oli 0,181 tonnia eli 0,491 %. Punnitusvirheen keskihajonnan havaittiin kuitenkin olevan suuri. Analyysissä laskettujen luottamusväliestimaattien perusteella punnitustarkkuus ylittää melko hyvin puutavaran mittauslaissa (414/2013) säädettyyn eräkoosta riippuvaan mittaustarkkuusvaatimukseen. Kuormatasolla tarkasteltuna, aineiston keskimääräisellä 48 300 kg kuormakoolla mittaustarkkuusvaatimus on ± 7 %, joka toteutui noin 95 % todennäköisyydellä. Sen sijaan tarkasteltuna aineistoa yhtenä kokonaisuutena, yli 100 000 kg punnituserälle asetettu ± 4 % mittaustarkkuusvaatimus täyttyi hieman yli 70 % todennäköisyydellä. Luottamusväliestimaattien ja punnituseron keskiarvon tarkastelu osoittaa melko korkean punnituseron keskihajonnan. Tämä todistaa, että kuormainvaakojen teknologiassa ja punnitustarkkuudessa on kehitettävää. Tutkimus osoittaa, etteivät punnitustulokset ole riittävän täsmällisiä, vaikka keskimääräisesti punnitustarkkuus on riittävä.

Punnitustarkkuudessa ei havaittu merkittäviä eroja tehtaiden välillä. Normaalijakautuneen punnitusvirheen keskiarvon todettiin oletusten mukaisesti pienenevän havaintomäärän kasvaessa. Punnituserolla havaittiin myös kausivaihtelua. Kaikilla tehtailla oli havaittavissa systemaattista kasvua punnitusvirheessä kevät- ja kesäkuukausina eli huhtikuusta elokuulle. Tässä tutkimuksessa tehdyt havainnot

punnitusero kausivaihtelusta ovat Heikkilän ym. (2004) sekä Pettyn ja Melkkaan (2013) tekemien tutkimusten tulosten suuntaisia. Pettyn ja Melkkaan (2013) tutkimuksen keskeisenä havaintona todettiin, että punnitusero oli suurimmillaan huhtikuusta kesäkuulle ja toiseksi korkein kolmannella vuosineljänneksellä. Tässä tutkimuksessa tehtiin sama havainto (kuvat 6 ja 7). Kausivaihtelu oli osalla tehtaista voimakkaampaa kuin toisilla.

Analyysissä tutkittiin eri tekijöiden vaikutusta punnitusvirheeseen yhden puutavaralajin kuormilla. Näitä tekijöitä olivat puutavaralaji, kuormakoko, kuljetusmatka sekä kauppatapa. Näillä tekijöillä ei kuitenkaan analyysin perusteella todettu olevan tilastollisesti merkittävää vaikutusta punnituseroon. Pettyn ja Melkkaan (2013) tutkimuksen tulokset osoittivat kuitupuulajeilla punnitustarkkuuden olevan parempi kuin tukkipuulla. Tässä tutkimuksessa ei tehty vastaavaa havaintoa. Sen sijaan yritysten ja ajoneuvoyhdistelmien väliltä löydettiin eroja. Osalla autoista punnitusero ja sen keskihajonta olivat merkittävästi muita suurempia. Siihen vaikuttavia tekijöitä on kuitenkin vaikeaa todentaa.

6.2.2 Kuormainvaakamittauksen käyttäminen kuljetusyrityksissä

Haastatteluiden perusteella kuormainvaakamittauksen todettiin olevan aktiivisessa käytössä kuljetusyrityksissä. Kuormainvaakaa käytetään kuormakoon hallinnassa sekä ajoneuvoyhdistelmien täyden kuljetuskapasiteetin hyödyntämiseksi että ylikuormien välttämiseksi. Kuormainvaakaa käytettiin myös siksi, että yritysten toimihenkilöt mainitsivat sen olevan usein urakanantajan vaatimus. Kuormainvaakamittaus koettiin yrityksissä toimivana menetelmänä myös siksi, että se lisää yritysten toiminnan joustavuutta vähentämällä riippuvuutta siltavaaoista, kun ajetaan puuta esimerkiksi terminaaleihin. Vaa'an käyttö on pääosin kuljettajien vastuulla, mutta kuljettajia koulutetaan tarvittaessa ja heidän työtään valvotaan. Kuormatiedot siirrettiin yrityksissä metsätietojärjestelmään joko erilaisten muistiinpanojen perusteella tai muistinvaraisesti. Tätä ei koettu kuljetusyrityksissä ongelmana. Haastatteluissa tuli esiin, että mahdollista punnitustietojen automaattista siirtymistä

metsätietojärjestelmään ei toivottu. Tähän oli perusteena se, että punnitustuloksia joudutaan useissa tilanteissa korjaamaan kuljettajan arvion mukaan.

Vaakojen punnitustarkkuutta seurataan yrityksissä aktiivisesti ja siihen käytetään pääosin tehtaan puutavaravastaanoton siltavaa'an tuloksia. Osassa yrityksistä käytettiin lisänä myös testipunnuksia. Testipunnusten käyttöön kuitenkin mainittiin liittyvän useita ongelmia, joten tutkimuksen perusteella siltavaakavertailu on toimivin menetelmän punnitustarkkuuden seurantaan. Haastattelujen kokemukset vahvistavat Iwarsson-Widen ja Jönssönin (2012) päätelmää, että testipunnusta on nostettava tavallisen kuormaamisen tapaan, jotta tulokset ovat todenmukaisia. Haastatteluiden perusteella punnitustarkkuuden seurannan todettiin olevan riittävällä tasolla. Oletusten mukaisesti tutkimus osoitti, että kalibrointi- ja viritystietojen taltioimisessa oli puutteita.

Vaakalaitteiden käyttöä eniten vaikeuttava tekijä oli haastatteluiden perusteella vaakalaitteiden toimintahäiriöt. Lähes jokainen haastateltu toimihenkilö mainitsi vaakoihin liittyvistä ongelmista, jotka ovat joko heikentäneet punnitustarkkuutta tai estäneet kuormainvaakamittauksen suorittamisen. Yhdessä yrityksessä kuormainvaakojen käytöstä oli luovuttu lähes kokonaan toimintahäiriöiden vuoksi. Useammassa yrityksessä käytettiin kuormainvaakojen ohella ajoneuvojen ilmajousitukseen perustuvia, rinnakkaisia punnitusjärjestelmiä. Ne eivät kuitenkaan ole puutavaran mittaustalainsäädännön mukainen, virallinen puutavaran urakointi- ja luovutusmittaukseen hyväksytty menetelmä. Tähän toivottiin kuitenkin muutosta.

6.2.3 Punnitustarkkuuteen vaikuttavat tekijät

Kuljetusyritysten toimihenkilöiden sekä vaakavalmistajan mukaan punnitustarkkuuteen vaikuttaa useita eri tekijöitä. Hydraulisten vaakojen ongelmana on säätilasta aiheutuvat punnitusvirheet. Vaakavalmistajan mukaan tämä johtuu vaakariipukkeen sisäisen öljyn kitkan muutoksesta. Sen vaikutusta on vaikeaa poistaa, joka osaltaan kyseenalaistaa hydrauliseen paineeseen perustuvien vaakojen mahdollisuudet tarkkana punnitusteknologiana. Kuljetusyritysten toimihenkilöiden mukaan ongelmaa pystyy kuitenkin ehkäisemään ennakoinnin avulla. Lämpötilan

vaihtelun vaikutusta punnitustarkkuuteen voidaan myös ehkäistä vaa'an virityksellä. Tämä ei kuitenkaan ole aina mahdollista lyhyellä aikavälillä. Kuljetusyritysten toimihenkilöiden mukaan kokeneet kuljettajat osaavat tarvittaessa myös korjata punnitustuloksia oman arviointikyvyn perusteella. Jos näin toimitaan, niin menetelmästä ei voida kuitenkaan puhua mittaamisena vaan arvioimisena.

Kuljettajalla on haastatteluiden perusteella suuri vaikutus kuormainvaa'an punnitustarkkuuteen. Punnitustarkkuus heikkenee, jos nosturia käytettäessä kuljettaja tekee äkkinäisiä liikkeitä. Tämä on erityisesti kokemattomien kuljettajien ongelma. Myös kuljettajalle uusi ja vieras kuormain voi aiheuttaa punnitusvirhettä heikentämällä kuormaimen hallintaa. Vaakalaitteiden mahdolliset toimintahäiriöt punnituksen aikana vaativat myös kuljettajalta tarkkaavaisuutta, joka on kokemattomille kuljettajille hankalaa. Myös yleisen huolellisuuden ja täsmällisyyden työn suorittamisessa todettiin haastatteluiden vastausten perusteella parantavan punnitustarkkuutta.

Haastateltavat mainitsivat myös kuormauspaikan ja pinomuodostelmien vaikuttavan merkittävästi punnitustarkkuuteen. Jos kuormainta ei saada tuettua tukevasti, niin heilunta lisää punnitusvirhettä. Vastaavasti jos pinot on sijoitettu väärälle etäisyydelle tiestä ja kuormaimella joudutaan kurkottamaan, syntyy todennäköisemmin punnitusvirhettä. Myös muut pinoihin liittyvät ongelmat, kuten huonosti asetellut pölkyt, aiheuttavat kuormatessa tarpeettomia liikkeitä. Haastateltavien mukaan kaikilla normaalista kuormaimen käytöstä poikkeavilla liikkeillä on yleisesti ottaen punnitustarkkuutta heikentävä vaikutus. Ajoneuvoa korkeampien pinojen on myös todettu lisäävän punnitusvirhettä. Varastopaikan suunnittelulla ja puutavaran pinoamisella todettiin olevan haastatteluiden perusteella merkittävä vaikutus kuormainvaa'an punnitustarkkuuteen.

6.2.4 Punnituseron kausivaihtelu

Haastatteluiden avulla etsittiin selittäviä tekijöitä myös sille, miksi punnituseron todettiin kasvavan kesäaikana, huhtikuusta alkaen. Haastateltavien vastausten perusteella tähän voi vaikuttaa useita eri tekijöitä. Niistä todennäköisin voisi olla puutavaran ominaispainon laskeminen kesäkuukausina eli tuoretiheyden ja kosteuden vaihtelut tiettyinä vuodenaikoina. Tähän päätelmään on myös Petty ja Melkas (2013) ovat tulleet omassa tutkimuksessaan. Myös Heikkilän ym. (2004) tutkimuksessa tehtiin samankaltaisia päätelmiä punnitustarkkuuden vaihtelun syistä. Puutavaran painon aleneminen lisää myös kuormattaessa nostettavien taakkojen määrää ja punnitusvirhe kertaantuu. Kevyt puutavara lisää myös puutavaran asettelua, jonka on todettu haastateltavien mukaan lisäävän punnitusvirhettä.

Haastatteluissa tuli esiin myös kesäaikana mahdolliset, suuret lämpötilavaihtelut päivän aikana. Kesällä pelkästään auringon säteily voi lämmittää merkittävästi riipukkeen öljyä. Erityisesti hydraulisilla vaailla lämpötilan muutokset lisäävät usein punnitusvirhettä, koska vaakariipukkeen öljyn ominaisuudet muuttuvat. Vaaka pitäisi virittää lämpötilan vaihdoksen ollessa suuri. Kuljettajan on kuitenkin vaikeaa arvioida punnitustarkkuuden muutoksia lyhyellä aikavälillä.

Haastatteluissa myös mainittiin, että erityisesti kevätaikana kuormattavat pölkyt saattavat olla märkiä, mutta voivat kuivaa kuljetuksen aikana. Tämä saattaa aiheuttaa punnituseroa kuormainvaa'an ja siltavaa'an välille. Puutavarassa saattaa myös kevätaikana olla yhden haastatellun mukaan enemmän epäpuhtauksia, lunta tai jäätä, jotka tippuvat pois kuljetuksen aikana.

Vaikka haastatteluiden avulla löydettiinkin mahdollisia selittäviä tekijöitä punnituseron kasvamiselle, niin yksiselitteisten syiden löytämien punnitustarkkuuden muutokseen on vaikeaa. Analyysissä havaitut muutokset olivat myös pieniä, joten ne saattavat osin selittyä kesäkuukausien pienemmällä kuormamäärällä verrattuna talvikuukausiin.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Kuormainvaakamittaus puutavaran mittausmenetelmänä

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta kuormainvaakamittauksen olevan toimiva menetelmä niin puutavaran luovutus- kuin urakointimittaukseen. Sen käyttö lisää kuljetusten joustavuutta vähentämällä kuljetusyrittäjien riippuvaisuutta puutavaran mittausasemista. Kuormainvaa'an merkittävänä etuna voidaan myös pitää mahdollisuutta tarkkailla kuormakokoa niin kuljetuskapasiteetin tehokkaan hyödyntämisen kuin ylikuormien välttämisenkin osalta. Tähän on kuitenkin kehitetty myös muita menetelmiä, kuten erilaisia kuormatilavaakoja.

Kuormainvaakamittaus on merkittävä menetelmä erityisesti puutavaran välivarastoinnin näkökulmasta. Terminaaleihin ja asemille ajettaessa siltavaa'an käyttö on usein vaikeaa ja aiheuttaa ylimääräistä ajoa. Menetelmä lisää toiminnan joustavuutta poistamalla mittaamisen paikkasidonnaisuutta. Kuormainvaa'alla voidaan urakointimittauksen ohella myös ylläpitää tehokkaasti ajantasaista tietoa katkotun puutavaran varastomääristä. Tämä on yksi edellytys tehokkaalle puuhuollon toiminnalle ja sille, että puutavara toimitetaan tuoreena käyttöpaikalle.

7.2 Kuormainvaakamittauksen tulevaisuus ja jatkotutkimus

Menetelmän käytön edistämiseksi on tärkeää, että vaakateknologiaa pyritään kehittämään aktiivisesti. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että tällä hetkellä käytössä olevat hydrauliset kuormainvaa'at eivät ole riittävän tarkkoja ja toimintavarmoja. Tutkimustulokset osoittavat, että puutavaran mittauslaissa (414/2013) säädetyt eräkoosta riippuvat mittaustarkeusvaatimukset eivät täysin toteudu aineiston perusteella. Tämä osoittaa punnitustarkkuudessa esiintyvän suurehkon keskihajonnan, koska keskimääräinen suhteellinen punnitusero oli koko aineistossa ainoastaan 0,49 prosenttia. Tutkimuksen tulokset kyseenalaistavat sen, onko kuormainvaakamittaus ja tällä hetkellä käytössä oleva punnitusteknologia täysin kykeneviä täyttämään puutavaran mittauslainsäädännössä (414/2013) säädetyt tarkkuusvaatimuksen.

Kuljetusyrityksissä saadut kokemukset kuormainvaakamittauksesta todistavat, etteivät kuormainvaa'at ole tällä hetkellä riittävän toimintavarmoja. Tämän perusteella olisi tärkeää, että vaakojen tiedonsiirron automatisoinnin sijaan keskityttäisiin ensin saattamaan vaakojen toimintavarmuus paremmalle tasolle. Vaakavalmistajat, kuten Tamtron, ovat tähän viime aikoina jo panostaneetkin. Tämän tutkimuksen toimeksiantajan yhden päätavoitteen eli tiedonsiirron automatisoinnin koetaan kuljetusyrityksissä tällä hetkellä ainoastaan vaikeuttavan heidän työtään. Tämä johtuu siitä, että punnitustuloksia joudutaan korjaamaan kuljettajien arvioiden perusteella. Punnitustulosten korjaaminen myös heikentää kuormainvaakamittauksen luotettavuutta. Tällöin ei voida puhua varsinaisesti punnitsemisesta, koska tulos perustuu arvioon.

Tutkimuksen tulokset asettavat suuret odotukset uutta, nykyaikaisempaa vaakateknologiaa kohtaan. Jos uudet, venymäliuska-anturitekniikkaan perustuvat kuormainvaa'at pystyvät täyttämään niitä kohtaan asetetut odotukset, niiden avulla on mahdollista ratkaista kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuudessa havaitut ongelmat. Toimintavarmuuden ja punnitustarkkuuden parantaminen on edellytys sille, että uuden vaakateknologian tarjoamia tiedonsiirtomahdollisuuksia voidaan hyödyntää täysipainoisesti. Sen ohella vaakoja ja niiden käyttämistä olisi syytä kehittää, jottei niiden kuormauksen aikaisella punnitsemisellä olisi vaikutusta työn tuottavuuteen.

Jos kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuuteen liittyviä ongelmia ei voida poistaa, korvaavien punnitusjärjestelmien käyttöönottamista olisi syytä kartoittaa ja tutkia. Grönlundin ja Iwarsson Widen (2014) tutkimuksen mukaan erityisesti venymäliuska-anturitekniikkaan pohjautuvilla kuormatilavaaoilla voidaan päästä tarkkoihin punnitustuloksiin ja noin 0,1 % punnitusvirheeseen. Tämän ohella auton ilmajousitukseen perustuvan järjestelmän punnitustarkkuus todettiin olevan yleisesti kuormainvaakamittausta parempi (Grönlund & Iwarsson Wide, 2014). Akselipainoa mittaavien vaakojen etuna verrattuna kuormainvaakaan on myös mahdollisuus tarkkailla kuorman massan jakautumista auton kuormatilassa. Näin ollen kokonaispainojen ohella voidaan tarkkailla sitä, ettei sallittuja akselikohtaisia kokonaismassoja ylitetä (Grönlund & Iwarsson Wide, 2014).

Tämä tutkimus vahvisti käsityksiä kuormainvaakamittauksesta puutavaran mittausten menetelmänä. Tutkimuksen puutteeksi voidaan todeta se, ettei punnitustarkkuudessa havaittujen vaihteluiden syitä voida yksiselitteisesti todeta. Tilastollisen analysoinnin perusteella todetun, kesäaikaisen punnituserojen kasvun mahdollisia syitä löydettiin haastattelututkimuksen vastausten perusteella. Näiden syiden todellista merkitystä ja sen voimakkuutta punnitustarkkuuteen pitäisi kuitenkin tutkia. Tämä voitaisiin tehdä esimerkiksi tutkimalla kuljettajien työtapoja ja niiden yhteyttä punnitustarkkuuteen seurantatutkimuksen avulla. Tässä tutkimuksessa raportoidut kokemukset kuormainvaakamittauksesta ja kuormainvaaoista liittyvät pääosin vanhaa teknologiaa edustaviin vaakoihin. Tulevaisuudessa voisi olla tarpeellista myös selvittää uuden vaakateknologian yleistyessä sen vaikutuksia punnitustarkkuuteen sekä kuormainvaakojen toimintavarmuuteen.

LÄHTEET

Finlex: Laki puutavaran mittauksesta 414/2013. [Verkkajulkaisu]. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130414> [Viitattu 1.1.2020].

Grönlund Ö., Iwarsson-Wide M. (2014). Lastindikatorer och lastbärandevågar. Skogforskin työraportti nro. 824-2014. Saatavissa: https://www.skogforsk.se/cd_20190114162035/contentassets/1a1e96c1054f4eaf9e415ad166ed7370/arbetsrapport-824-2014.pdf

Heikkilä J., Lindblad J., Hujo S., Verkasalo E. (2004). Pienten kuitupuuerien mittaus puutavara-auton kuormainvaa'alla. Saatavissa: <https://doi.org/10.14214/ma.5669>

Heikurainen M., Paavilainen L., Rintala P., Palokangas J., Saarentaus T., Immonen K., Sirviö J., Jaakkola S., Palojärvi K., Laiho J., Hongisto, T. (2019). Vaakojen mittauksarkkuuden ylläpito puutavaranmittauksessa. [Puutavaranmittauksen neuvottelukunnan suositus]. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2019043013781>

Hoffmann, K. 1989. An Introduction to Measurements using Strain Gauges. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, 222-227.

Iwarsson-Wide M., Jönsson P. (2012). Utvärdering av kranhängda vågsystem. Skogforskin työraportti nr. 770-2012. Saatavissa: <https://www.skogforsk.se/contentassets/922395eba60e48258f40364765aadf01/arbetsrapport-770---utvardering-av-kranhangda-vagsystem-.pdf>

Lindblad, J., Äijälä O., Koistinen A. (2013). Energiapuun mittausopas. Saatavissa: https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/539163/978-952-5694-28-4_energiapuun-mittausopas-2013.pdf?sequence=1

Luonnonvarakeskus: puutavaranmittaus, saatavissa: <https://www.luke.fi/avointieto/metsa/puutavaranmittaus/organisaatio-ja-viranomaiset/> [Viitattu 1.2.2020].

Löfroth, C., Marcusson, H., Jonsson, M. (2006). Standardiserad lastkontroll på virkesfordon. Skogforskin työraportti nr. 620-2006. Saatavissa: https://www.skogforsk.se/cd_20190114162026/contentassets/0c16f765405f42578b6935a755630eec/arbetsrapport-620-2006.pdf

Maa- ja metsätalousministeriö: Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi puutavaran mittauksesta. (2012). [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2012/20120192.pdf>

Maa- ja metsätalousministeriö: puutavaranmittauksen neuvottelukunta. [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <https://mmm.fi/hanke2?tunnus=MMM043:00/2017> [Viitattu 3.2.2020].

Melkas, T. (2010). Markkinoilla olevat kuormainvääntimet ja niiden ominaisuudet. Metsäteho Oy:n tulostulosraportti. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulostulosraportti_2010_04_Markkinoilla_olevat_kuormainvääntimet_ja_niiden_ominaisuudet_tm.pdf

Melkas, T. (2018). Mittaus- ja laatuopas [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: <http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-maastossa/kuormainvääntimienmittaus/> [Viitattu 12.1.2020].

Melkas T. (2019) Puutavaran mittausmenetelmien osuudet 2018. [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulostulosraportti_2019_9_Puutavaran_mittausmenetelmien_osuudet_2018.pdf

Metsäteho Oy: Kuormainvääntimen kalibrointi- ja viritysohje., (2018). Saatavissa: http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/wp-content/uploads/sites/9/2018/05/Ohje_Kuormainvääntimen_kalibrointi_ja_viritysohje_Mets%C3%A4teho_06032018.pdf

Petty A., Melkas T., (2013). Crane scale accuracy: A case study on timber truck and forwarder crane scale measurement. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Tulostulosraportti_2013_06b_Crane_scale_accuracy_apetty_tm.pdf

Poliisi: Ylikuormattujen ajoneuvoyhdistelmien määrä liikenteessä. (2017). [verkkojulkaisu]. Saatavissa: https://www.poliisi.fi/poliisihallitus/tiedotteet/1/0/raskaan_liikenteen_valvonnasta_ei_tiedotettu_etukateen_ylikuormien_ja_huomautusten_marat_kasvoivat_64568 [Viitattu 2.2.2020].

Saaranen-Kauppinen A., Puusniekka A., (2006). KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto [verkkajulkaisu]. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto [ylläpitäjä ja tuottaja]. Saatavissa: <https://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus> [Viitattu 1.1.2020].

Saxholm, S., Rantanen, M. (2011). Paineen mittaus. Centre of Metrology and Accreditation. MIKES Julkaisu, No. J1. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2011-J1.pdf>

Tamtron Oy: Tamtron One Timber -puutavaranosturivaaka. (2019). [myyntiesite]. Saatavissa: https://www.tamtrongroup.com/uploads/2019/12/dn15689_1-fi_brochure-one-timber-scale_191127.pdf [Viitattu 3.3.2020].

Tamtron Oy: Tamtron Timber -puutavaranosturivaaka. (2019). [myyntiesite]. Saatavissa: https://www.tamtrongroup.com/uploads/2019/11/dn15692_1-fi_brochure-timber-crane-scale_191125.pdf [Viitattu 3.3.2020].

LIITE 1: Tamtron Oy haastattelu

Haastattelun tavoitteena on kerätä tietoa kuormainvaakamittauksesta vaakalaitteiden, punnitustarkkuuden sekä menetelmän käytön osalta. Tavoitteena on myös saada vertailuaineistoa kuljetusyritysten toimihenkilöiden vastauksille. Haastattelun avulla on tarkoitus myös lisätä tutkimuksen tekijän yleistä tietämystä kuormainvaakamittauksesta. Haastattelu toteutetaan puolistrukturoituna teemahaastatteluna. Haastattelun tulokset raportoidaan osana pro-gradu -tutkielmaa. Tutkimuksen tavoitteena on todentaa kuormainvaakamittauksen punnitustarkkuutta sekä kehittää menetelmää ainespuun mittauksessa tutkimuksen toimeksiantajalla.

Haastattelu käsittää seuraavat aiheet:

Kuormainvaa'at ja punnitustarkkuus

- Erilaiset vaakajärjestelmät ja niiden käyttö
 - vaakojen teknologia
 - punnitseminen
 - kalibroiminen ja virittäminen
- Punnitustarkkuus ja siihen vaikuttavat tekijät
 - käyttäjän merkitys punnitustarkkuuteen
 - sääolosuhteiden vaikutus
 - punnittavan kappaleen ominaisuudet
 - muut mahdolliset vaikuttavat tekijät

Kuormainvaakojen tiedonsiirto

- nykyiset tiedonsiirtomenetelmät
- punnitustietojen taltioiminen
- suunnitelmia tiedonsiirron kehittämiseen
- kalibroitietojen hallinta

Kuormainvaakamittauksen ongelmia tai kehityskohteita

- hyödyntämismahdollisuudet, kehityskohteet?
- muita ajatuksia?

LIITE 2: Kuljetusyritysten haastattelu

Tavoite

Tavoitteena löytää selittäviä tekijöitä tilastollisessa analyysissä havaituille punnitustarkkuuden vaihteluille. Tavoitteena myös löytää asioita, joita kehittämällä voitaisiin edistää kuormainvaakamittauksen käyttöä ainespuun mittauksessa.

Menetelmä

Haastattelu toteutetaan puhelinhaastatteluna. Haastattelumenetelmänä käytetään puolistrukturoitua teemahaastattelua. Kysymykset toimitetaan haastateltaville etukäteen. Haastatteluita ei äänitetä. Perusteena sille on, että äänittäminen todennäköisesti rajoittaisi haastateltavien halukkuutta tuoda esiin mittausmenetelmän ongelmia tai työn toimeksiantajaa koskevia kriittisiä kommentteja.

Haastattelukysymykset on suunniteltu niin, että haastattelutilanteen yhteydessä on mahdollista tehdä riittävät muistiinpanot haastatteluiden tulosten raportoimista varten.

Kysymykset

1. Kuormainvaakamittauksen käyttäminen yrityksessä
 - Käytetäänkö kuormainvaakaa aina kuormattaessa puuta ajoneuvoon? Jos ei, niin missä tilanteissa sitä käytetään?
 - Hyödynnetäänkö kuormainvaakaa yrityksessänne ajoneuvokohtaisen kuormakoon hallinnassa?
 - Ohjeistetaanko yrityksessä kuormainvaan käyttöä vai onko se kuljettajan vastuulla?
 - Miten punnitustulokset siirretään metsätietojärjestelmään?
2. Punnitustarkkuus
 - Miten vaakakohtaista punnitustarkkuutta seurataan yrityksessänne?
 - Kuinka usein punnitustarkkuus varmistetaan?
 - Onko vaakalaitteiden punnitustarkkuudessa havaittu jotain ongelmia?
 - Miten kalibrointi- ja viritystiedot taltioidaan?
3. Muita huomioita kuormainvaakamittauksesta
 - Käytännön työssä havaittuja kehityskohteita kuormainvaakamittauksessa?
 - Hyviksi koettuja käytäntöjä kuormainvaakamittauksesta?